

## ANALISIS PROSES ANNEALING TERHADAP PERFORMA SAMBUNGAN LAS PIPA BAJA API 5L HASIL PENGELESAAN ERW

*<sup>1</sup>Iwan Setyadi, <sup>2</sup>A. Fithri Darma Khairuman*

*<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta*

*<sup>1</sup>iwansetyadi2810@gmail.com*

### Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi kualitas pengelasan pada sambungan las pipa baja setelah perlakuan panas dengan fokus pada pengaruh temperatur annealing. Metode *Electric Resistance Welding* (ERW) digunakan dalam produksi pipa, namun ditemukan perbedaan temperatur anneal antara awal dan akhir produksi. Penelitian eksperimental dilakukan pada pipa ERW dengan temperatur annealing yang berbeda (950°C dan 962°C) untuk pipa spesifikasi API 5L. Karakterisasi melibatkan pengukuran sifat mekanis (kekuatan tarik dan kekerasan) serta observasi struktur mikro melalui mikroskop optik. Hasil menunjukkan bahwa temperatur annealing mempengaruhi kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Annealing pada 950°C menghasilkan kekuatan tarik 1,3% lebih tinggi, kekerasan sedikit lebih tinggi dan ukuran butir sedikit lebih kecil dibandingkan dengan temperatur anneal 962°C.

Kata kunci : pipa API 5L, sambungan las, ERW, annealing, karakterisasi

### 1. PENDAHULUAN

Pipa memegang peran krusial sebagai media transportasi cairan dan gas dalam berbagai sektor industri, khususnya dalam industri minyak dan pertambangan. Pipa baja (Hutauruk, 2017; Karmiadji et al., 2014), sebagai pilihan utama dalam infrastruktur ini, bukan hanya sebagai pengantar energi seperti air, minyak, dan gas, tetapi juga menjadi elemen struktural penting dalam berbagai proyek seperti tiang listrik, tiang tanda, bagian dari struktur bangunan, dermaga, dan pengembangan lainnya.

Dalam industri perminyakan, jalur aliran pipa menjadi tulang punggung operasional. Oleh karena itu, pemilihan bahan pipa yang mampu menahan tekanan yang signifikan menjadi aspek kritis (Callister & Rethwisch, 2013). Sementara itu, dalam industri manufaktur logam, proses penyambungan logam, terutama melalui pengelasan, menjadi bagian penting dari pengembangan pipa baja. Kualitas pengelasan menjadi faktor krusial, terutama pada sambungan las pipa baja dengan spesifikasi API 5LB (API, 2021), di mana hasil aliran logam perlu diperhatikan, terutama setelah perlakuan panas pasca pengelasan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, proses annealing (ASM Metals Handbook, 2013; Hadi et al., 2020) menjadi faktor kunci untuk mencapai kualitas pengelasan yang

diinginkan. Akan tetapi dalam proses produksi pipa ditemukan kondisi dimana temperatur anneal pada awal produksi dengan produksi akhir pipa ada perbedaan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk menyelidiki dan menganalisis secara mendalam pengaruh temperatur annealing pada hasil pengelasan menggunakan metode *Electric Resistance Welding* (ERW) (Sarjono et al., 2009; Zhang & Senkara, 2011), terutama pada pipa baja spesifikasi API 5L. Karakterisasi yang dilakukan meliputi sifat mekanis (kekuatan Tarik dan Kekerasan) dan pengamatan struktur mikro melalui mikroskop optik.

Melalui fokus pada pengembangan teknologi pengelasan, penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang optimalisasi proses annealing pada pengelasan pipa baja. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan wawasan mendalam pada tingkat teknis, tetapi juga memiliki potensi dampak positif yang luas dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas pada industri pipa baja.

### 2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, dimana sampel merupakan produk pipa baja hasil pengelasan *Electric*

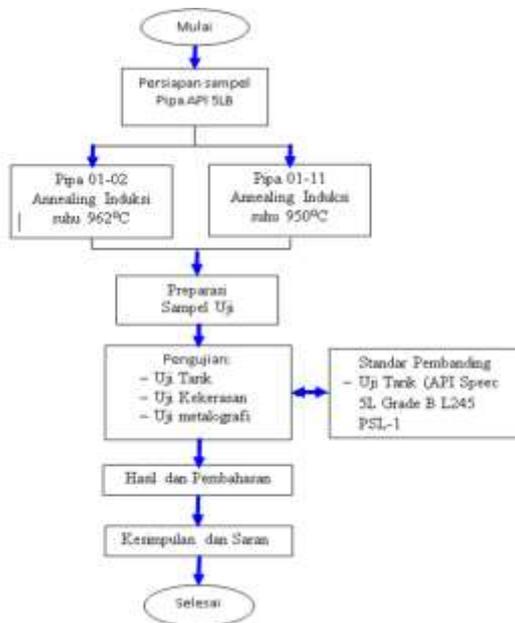
Resistance Welding (ERW) yang telah mengalami proses anneal.

Material pipa baja adalah API 5L Grade B PSL-1 dengan komposisi kimia sebagai berikut.

Tabel 1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B PSL-1 (API, n.d.)

Komposisi	(%)
C (maks.)	0,26
Mn (maks.)	1,2
P (maks.)	0,03
S (maks.)	0,03
V (maks.)	-
Nb (maks.)	-
Ti (maks.)	-

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian  
sumber : Penelitian mandiri 2023

Gambaran singkat tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

- Diawali dari pengumpulan data dan studi literatur serta menyiapkan material pipa API 5L Grade B PSL-1 hasil ERW.
- Ada 2 buah pipa yang dilakukan proses annealing, masing-masing pada temperatur 962°C (pipa 01-02) dan temperatur 950°C (pipa 01-11). Proses

annealing dilakukan insitu pada *line production*.



Gambar 2 Proses Annealing Pipa Insitu Pada Line Production

sumber : Penelitian mandiri 2023

- Kedua jenis pipa tersebut dipreparasi untuk keperluan sampel uji Tarik, *hardness* dan metalografi.

Sampel uji Tarik dibuat mengacu pada ASTM A370. Masing-masing pipa diuji bagian yang ada sambungan lasnya dan bagian logam induk (base metal).

- Sampel uji tarik pada area lasan (fusion line)



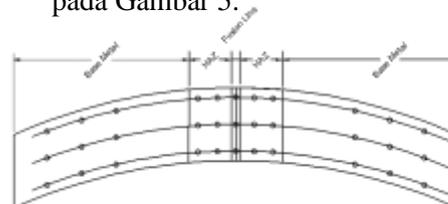
Gambar 3 Sampel Uji Tarik Bagian lasan  
sumber : Penelitian mandiri 2023

- Sampel uji tarik pada area *base metal*.



Gambar 4 Sampel Uji Tarik Bagian Logam Induk  
sumber : Penelitian mandiri 2023

Sedangkan uji kekerasan (*hardness*) dilakukan pada 3 daerah, yaitu daerah lasan, *heat affected zone* (HAZ) dan logam induk, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Daerah dan Titik Ukur Uji Hardness

Uji *hardness* dan metalografi menggunakan sampel uji yang sama, Dimana untuk kekerasan bagian permukaan, sedangkan untuk metalografi pada bagian penampang (Gambar 6).



Gambar 6 Sampel uji Metalografi (atas) dan Uji Hardness (bawah).  
sumber : Penelitian mandiri 2023

Untuk metalografi proses preparasi diawali melalui proses grinding menggunakan kertas grinding dengan grid 240-1500, kemudian dipolishing dengan alumina dan terakhir dietsa dengan larutan Nital.

- d. Pelaksanaan proses pengujian Tarik dilakukan dengan UTM merek SHIMADZU (UH-100A) kapasitas 100kN dan Kekerasan (Hardness) menggunakan merek Mitutoyo dengan metode Vickers. Uji strukturmikro (metalografi) menggunakan mikroskop optic Olympus (GX-51).



Gambar 7 Peralatan Uji Tarik (Shimadzu)  
sumber : Penelitian mandiri 2023



Gambar 8 Peralatan Vickers Hardness (Mitutoyo)  
sumber : Penelitian mandiri 2023



Gambar 9 Mikroskop Optic Olympus (GX-51)

sumber : Penelitian mandiri 2023

- e. Hasil Uji kemudian dibandingkan dengan standar spesifikasi API 5L Grade B PSL-1.  
f. Melakukan analisa dan pembahasan, dan kemudian membuat kesimpulan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil

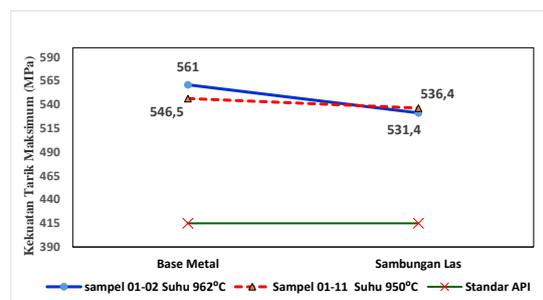
Hasil penelitian ini meliputi kekuatan Tarik, Kekerasan dan Strukturmikro

#### Kekuatan Tarik

Tabel 2 Hasil Uji Tarik (Yield Strength & Tensile Strength)

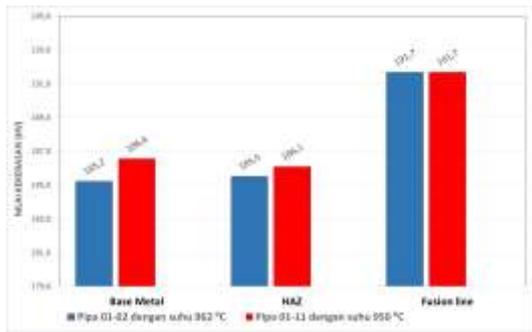
sumber : Penelitian mandiri 2023

No.	Suhu (°C)/ Nomor Pipa	Lokasi	Yield Strength (MPa)		Tensile Strength (MPa)	
			Hasil Uji	Standar Minimal	Hasil Uji	Standar API
1	962 /	Base Metal	430,7	245	561,0	415
2	01-02	Sambungan Las	-	-	531,4	415
3	950 /	Base Metal	439,7	245	546,5	415
4	01-11	Sambungan Las	-	-	536,4	415



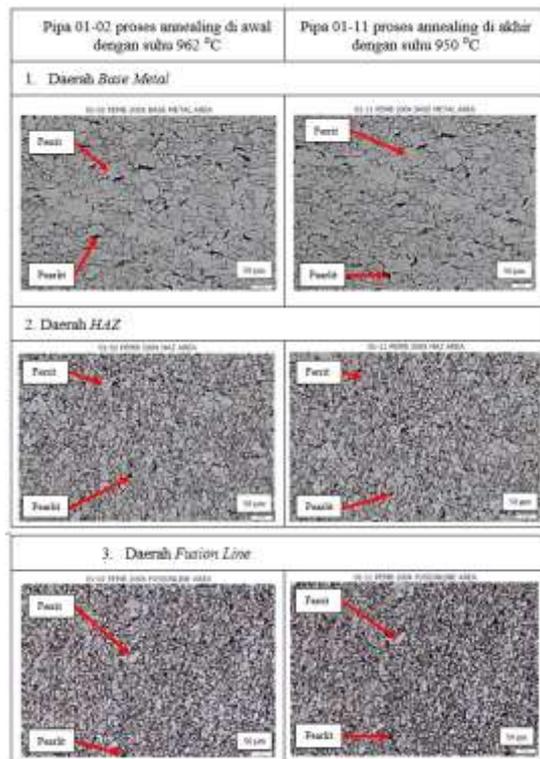
Gambar 10 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Maksimum Hasil Anneal Dibanding Standar  
sumber : Penelitian mandiri 2023

#### Kekerasan (HV)



Gambar 11 Grafik Perbandingan Kekerasan Rata-rata (HV) Sampel Anneal T 962°C dan Anneal T 950°C Pada Daerah Lasan (*Fusion Line*), HAZ dan *Base metal*  
sumber : Penelitian mandiri 2023

### Struktur mikro



Gambar 12 Foto Perbandingan Struktur mikro Sampel Anneal T 962°C dan Anneal T 950°C Pada Daerah Lasan (*Fusion Line*), HAZ dan *Base metal*  
sumber : Penelitian mandiri 2023

### 3.2 Pembahasan

#### *Pengaruh Temperatur Anneal Terhadap Kekuatan Tarik Pipa API 5L Grade B PSL-1 hasil ERW*

Berdasarkan hasil dari grafik *Tensile Strength* pada Gambar 10, data pengujian tarik pipa menunjukkan bahwa pada saat awal proses annealing dengan suhu 962 °C, *Tensile Strength* daerah *base metal* mencapai 561

MPa, sementara pada sambungan lasnya sebesar 531,4 MPa. Sedangkan, sampel pipa yang dianneal pada akhir proses annealing bersuhu 950 °C menunjukkan *Tensile Strength* daerah *base metal* sebesar 546,5 MPa, dengan nilai pada daerah sambungan las mencapai 536,4 MPa. Pada kedua sampel pipa tersebut, *Tensile Strength* di daerah *base metal* secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sambungan las.

Secara umum, *Tensile Strength* hasil pengelasan ini masih memenuhi standar, dengan nilai batas minimum sebesar 415 MPa (API, n.d.). Pipa pada awal proses annealing mengalami peningkatan *Tensile Strength* sebesar 116,4 MPa atau 28% dari standar API, sedangkan pipa pada akhir proses annealing mengalami peningkatan sebesar 121,4 MPa atau 29,3% dari standar sifat mekanik material pipa baja spesifikasi API 5LB L245 PSL-1. Dengan demikian, perbedaan kekuatan tarik antara pipa yang dianneal pada awal proses annealing (962 °C) dengan pipa yang dianneal pada akhir proses annealing (950 °C) hanya sebesar 1,3%.

#### *Pengaruh Temperatur Anneal Terhadap Kekerasan Pipa API 5L Grade B PSL-1 hasil ERW*

Dari hasil uji kekerasan pada Gambar 11 pipa awal proses annealing (962°C) dan pipa akhir proses annealing (950°C), rata-rata nilai kekerasan pada daerah *base metal*, HAZ, dan *fusion line* tampak memiliki perbandingan yang tidak signifikan antar ketiganya. Penjajakan line 3 (tiga) menunjukkan nilai kekerasan tertinggi, terutama dalam daerah *base metal*, dimana nilai kekerasan pada permukaan luar (line 1) sedikit lebih rendah dibandingkan dengan permukaan dalam (line 3) akibat penurunan heat input pada proses pengelasan.

Rata-rata uji kekerasan pada setiap daerah *base metal*, HAZ, dan *fusion line* pada pipa awal maupun akhir proses annealing menunjukkan bahwa *fusion line* memiliki kekuatan sambungan las yang tinggi dan cenderung meningkatkan nilai kekerasan. Proses annealing menyebabkan pelunakan dan penurunan kekerasan, serta mengurangi tegangan sisa akibat pembentukan pipa saat pengelasan.

Secara keseluruhan, pada daerah HAZ terdapat sedikit kenaikan kekerasan pada pipa akhir proses annealing (950°C) sebesar

0,32%, sementara pada daerah base metal terjadi peningkatan sebesar 0,76% dibanding pipa awal proses annealing (962°C). Meskipun demikian, pengaruh anneal pada daerah *fusion line* tidak terlalu mencolok, menunjukkan nilai kekerasan yang relatif stabil.

#### *Pengaruh Temperatur Anneal Terhadap Strukturmikro Pipa API 5L Grade B PSL-1 hasil ERW*

Analisis struktur mikro pada pipa, seperti yang terlihat pada Gambar 12, mengungkap perbedaan antara tahap awal proses annealing (962°C) dan tahap akhir proses annealing (950°C). Hasil menunjukkan bahwa di daerah *fusion line*, butir pipa pada tahap akhir annealing cenderung sedikit lebih halus daripada pada tahap awal (temperatur Anneal 962°C). Pengaruh temperatur yang sedikit lebih tinggi dibanding kondisi akhir menyebabkan mulai terjadi pertumbuhan butir pada dendrit daerah lasan (*fusion line*). Hal ini yang menyebabkan butir pipa anneal 962°C sedikit lebih besar. Daerah *fusion line* ini dapat dianggap sebagai lokasi terjadinya *mini casting* lokal.

Efek panas dari proses annealing juga mencapai daerah *Heat-Affected Zone* (HAZ), di mana perbesaran butir terjadi. Hal ini, pada gilirannya, berdampak pada penurunan kekerasan. Di daerah *base metal*, penurunan kekerasan yang lebih signifikan terlihat, menunjukkan kompleksitas perubahan struktural selama proses annealing.

Meskipun terdapat variasi kekerasan pada beberapa daerah tertentu, analisis secara menyeluruh menunjukkan bahwa struktur mikro pada pipa pada tahap awal proses annealing (962°C) dan tahap akhir proses annealing (950°C) cenderung memiliki pola yang relatif seragam. Struktur mikro yang dominan adalah campuran ferrit dan pearlit di daerah *base metal*, HAZ, dan *fusion line*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa temperatur annealing memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik (*tensile strength*), kekerasan dan strukturmikro. Temperatur anneal yang lebih rendah (950°C) kekuatan tariknya sedikit lebih tinggi sebesar 1,3% dibandingkan temperatur yang lebih tinggi (962°C), nilai kekerasan juga sedikit lebih

tinggi sebesar 0,32% di daerah HAZ dan 0,76% di daerah *base metal*, sedangkan ukuran butirnya sedikit lebih kecil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- API. (n.d.). *API 5L Gr B Material Composition*.  
<https://www.neelconsteel.com/api-5l-grb-carbon-steel-pipes.html#11>
- API. (2021). *API Specification 5L*. API; API.  
<https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-5l>
- ASM Metals Handbook. (2013). *Heat Treating Vol 4*. ASM Handbook Committee, New York.  
[https://www.asminternational.org/books-and-handbooks/results/-/journal\\_content/56/10192/05344G/PUBLICATION/](https://www.asminternational.org/books-and-handbooks/results/-/journal_content/56/10192/05344G/PUBLICATION/)
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2013). *Materials Science and Eng. Materials Science and Engineering: A*, 42(1), 181.
- Hadi, S., Setiawan, A., Nugroho, P. W., Hermansyah, A. D., & Alfisahri, A. N. (2020). Effect of FSW Heating Base Temperature on Tensile Strength and Hardness of AA 1100 Welds. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 7(2), 85–91.
- Hutauruk, F. Y. (2017). Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis dengan Metode Elektrokimia. *Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- Karmiadji, D. W., Setiadi, G., & others. (2014). Analisis Pembuatan Pipa Baja Sistem Dua Bagian Las Astm A139 Dengan Menggunakan Metoda Lsaw= Manufactur Analysis Dual Seam Weld Steel Pipe Astm A139 by Using Lsaw Methode. *Jurnal Material Komponen Dan Konstruksi*, 14(1), 29–35.
- Sarjono, K., Chanif, A., Mesin, J., & Jakarta, U. M. (2009). Pengaruh Las Tahanan Listrik terhadap Kekuatan Mekanis Pipa Baja Api 5L--X52 (24" X 12.70 Mm). *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13–24.
- Zhang, H., & Senkara, J. (2011). *Resistance welding: fundamentals and applications*. CRC press.