

## PENGARUH PERLAKUAN ANIL TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS PIPA BAJA Z 2201

Heru Danarbroto<sup>1\*</sup>, A.P.Bayu Seno<sup>2</sup>, Gunawan Dwi Haryadi<sup>2</sup>, Seon Jin Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran  
Jl. Banjar Sari Barat no.1 Tembalang Semarang.

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Sudharto, SH, Tembalang Semarang

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Automotif dan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Nasional Pukyong-Busan  
Korea Selatan

\*E-mail: herudanarbroto@yahoo.co.id

### Abstrak

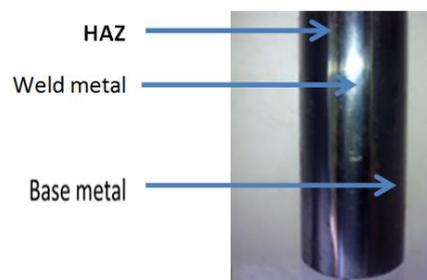
Las listrik frekuensi tinggi (*high frequency welding*) merupakan salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan untuk mengelas pipa baja karbon rendah. Luasnya pemakaian las ini disebabkan karena pengelasan dilakukan secara otomatis serta memiliki kehandalan yang cukup tinggi. Ketangguhan dan ketahanan fatik las dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya masukan panas, fluks, kecepatan las dan laju pendinginan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kekuatan las dengan proses anil berbagai variasi temperatur 400<sup>o</sup> C, 500<sup>o</sup> C, 600<sup>o</sup> C, 700<sup>o</sup> C, dan 800<sup>o</sup> C dan waktu tahan 60 menit dari proses anil pada pipa baja JIS Z 2201 dengan diameter =25,9mm, tebal= 1,9 mm. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan struktur mikro dan nilai kekerasan (*micro vickers*). Pengujian didapatkan dari hasil pelebaran ukuran *dark band* efek dari variasi temperatur (*post weld heat treatment*) pada batas sambungan baja karbon (*base metal* dan *weld metal*), serta terjadinya pengerasan butir pada daerah HAZ pada baja karbon yang berstruktur *full ferit*. Nilai kekerasan daerah *dark band* ini lebih tinggi dibanding daerah lainnya, dan menurunnya nilai kekerasan pada daerah HAZ, sehingga akan menimbulkan kegagalan jika pipa ini semakin lama dipakai pada aplikasi ini.

**Kata Kunci** : Kekerasan, proses anil, sifat mekanis, dan struktur mikro

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan pipa baja karbon rendah didalam negeri sampai saat ini cukup tinggi, terutama dalam menunjang industri otomotif, industri makanan dan minuman, peralatan kantor, peralatan rumah tangga dan lainnya. Untuk itu diperlukan pipa baja yang memiliki sifat mekanik dengan kualitas baik dilihat dari masing-masing fungsinya.

Untuk memenuhi hal tersebut di atas diperlukan bahan baku pipa baja karbon rendah dilakukan dengan menggunakan *high frequency welding* dengan metode *tube drawing* (gambar 1). Selain itu juga diharapkan tingkat kerataan permukaan pipa baja yang homogen dari hasil reduksi dingin. Untuk memperoleh perubahan sifat mekanik yang diinginkan diatas, maka dilakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur pada pipa baja tersebut. Akibat perlakuan panas pada pipa baja karbon rendah, maka sifat mekanik yang sebelumnya akan berubah. Fenomena yang terjadi pada pengelasan frekuensi tinggi adalah *solidification cracking*, *creep failure* di *Heat-Affected Zone* (HAZ). Hal ini dapat mengakibatkan turunnya kualitas sambungan las dan sambungan akan lepas.



Gambar 1 Hasil pengelasan pada pipa baja JIS 2201 diameter =25,9mm, tebal= 1,9 mm

## 2. PROSEDUR PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa baja JIS Z 2201 diameter = 25,9 mm, tebal = 1,9 mm. Metoda penelitian dengan tanpa dan variasi *post weld heat treatment* yang dilakukan adalah 400°C- 800°C dengan *holding time* 1 jam. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian struktur mikro dan kekerasan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah karbon (C) = 0.051 % seperti terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi kimia sampel uji (% berat) pipa baja JIS Z2201 diameter 25,9 mm, tebal 1,9 mm

UNSUR	SAMPEL UJI	
	Berat (%)	Standar Deviasi
Fe	98,4	0,439
C	0,0511	0,0069
Si	0,257	0,0883
Mn	0,334	0,0276
P	<0,0050	0
Si	0,0151	0,0023
Cr	0,038	0,0044
Mo	0,0741	0,0276
Ni	0,218	0,142
Al	0,0466	0,0069

### 3.1 Hasil Uji Struktur Mikro dengan Mikroskop Optik

Pembahasan hasil mikrografi fokus pada sambungan las frekuensi tinggi (*high frequency welding*) karena hasil pengelasan sering mengalami kegagalan.



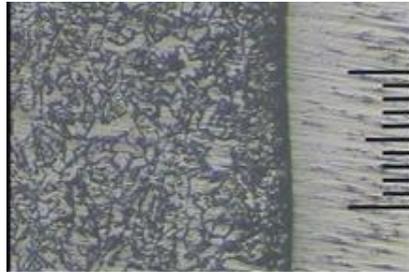
Gambar 2. Batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon tanpa *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) perbesaran 200 x

Struktur mikro yang belum terpengaruh efek PWH, hasil murni dari pengelasan frekuensi tinggi, bagian HAZ struktur mikronya berbentuk bulat kecil dengan ukuran sekitar 7.39  $\mu\text{m}$  dan berstruktur ferit + perlit (gambar 2).



Gambar 3. Batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 400oC perbesaran 200 x

Pada gambar terlihat terdapat daerah yang berwarna gelap, populer disebut dengan *dark band* (Lippold, John C, 2005). *Dark band* ini terbentuk akibat migrasi karbon dari baja karbon menuju perbatasan *weld metal*, besar daerah tersebut dipengaruhi adanya temperatur dan waktu tahan, pergeseran karbon dapat terjadi pada temperatur sekitar 400°C (*American Welding Society* (AWS, 1997), lebar *dark band* ini sekitar 18 µm dan besar butir 9 µm (gambar 3).



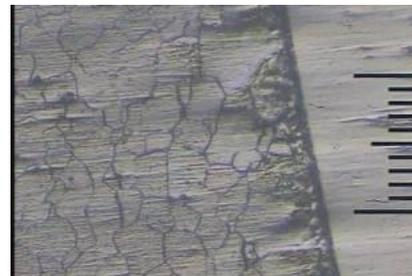
Gambar 4. Batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 500°C perbesaran 200 x

Daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon, struktur mikro pada gambar terlihat *dark band* yang semakin melebar di sepanjang batas *weld metal* dan ukuran butir menjadi lebih besar, yaitu sekitar 10.45 µm, dan lebar *dark band* ini sekitar 21 µm (gambar 4).



Gambar 5. Batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 600°C perbesaran 200 x

Struktur mikro batas antara HAZ baja karbon dan *weld metal*, pelebaran *dark band* tidak terlalu terlihat jelas, akan tetapi meningkatnya *dark band* akibat temperatur PWHT ini ada dengan lebar sekitar 27 µm serta terjadi pembesaran ukuran butir yang berukuran 17.1 µm (gambar 5).



Gambar 6. Batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 700°C perbesaran 200 x

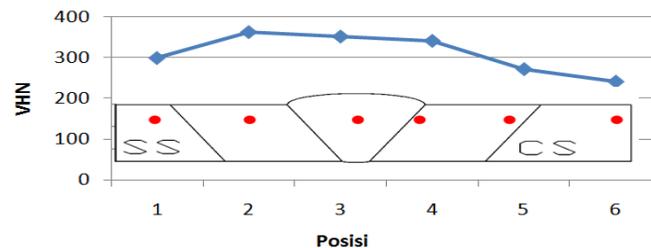
Ukuran lebar *dark band* tersebut sekitar 15µm relatif sangat kecil, tetapi telah terjadi migrasi karbon yang sangat besar, ditunjukkan pada daerah HAZ yang strukturnya berubah menjadi ferit dan pengkasaran ukuran butir yang berukuran sekitar 27.7 µm (gambar 6).



Gambar 7. Batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 800°C perbesaran 200 x

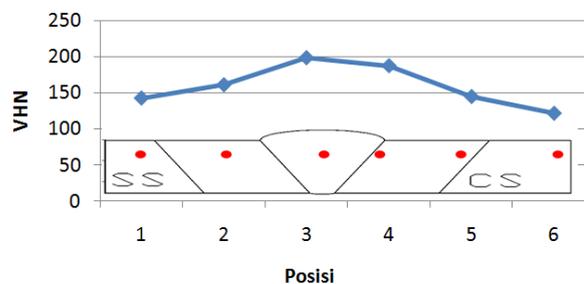
Adanya dark band yang tidak terlalu besar pada sepanjang perbatasan HAZ baja karbon dan *weld metal*. Ukuran lebar *dark band* tersebut sekitar 22  $\mu\text{m}$  relatif sangat kecil, efek dari PWHT temperatur 800°C ini mengakibatkan terjadinya migrasi karbon yang cukup banyak, diperlihatkan bentuk struktur mikro HAZ baja karbon yang berstruktur ferit dan berwarna terang penampilannya serta pengkasaran butir pada daerah HAZ dan berstruktur ferit, secara otomatis daerah ini mengalami kekurangan karbon dan akan melemahkan kekuatan mekaniknya. Ukuran butir daerah HAZ sekitar 36,1  $\mu\text{m}$  (gambar 7).

### 3.1 Hasil Uji Kekerasan menggunakan Mikro Vickers Hardness



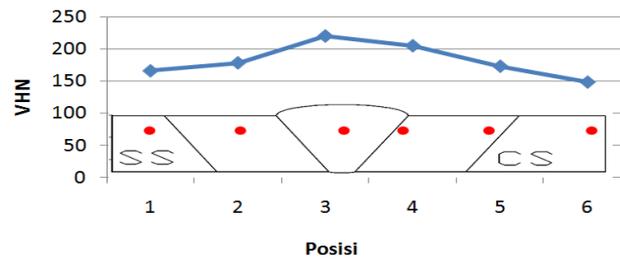
Gambar 8. Grafik kekerasan Vicker tanpa PWHT

Nilai-nilai kekerasan ini tidak sesuai realitanya karena sangat tinggi, dan tidak seperti dipersyaratkan oleh NACE MR 0715 dimana kekerasannya < 250 VHN. Hal ini dimungkinkan oleh efek dari pengerjaan permesinan saat pengambilan sampel spesimen (gambar 8).



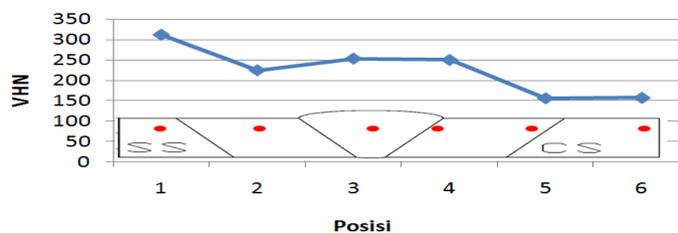
Gambar 9. Grafik kekerasan Vicker dengan PWHT 400°C

Gambar 9 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan frekuensi tinggi dari *base metal* sampai dengan *weld metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* yang bernilai 198.3 VHN, pada daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon, nilai kekerasannya melebihi daerah HAZ baja karbon dengan nilai 187.3 VHN (gambar 9). Hal ini dikarenakan adanya migrasi karbon yang membentuk *dark band* seperti pada struktur mikronya (lihat gambar 3).



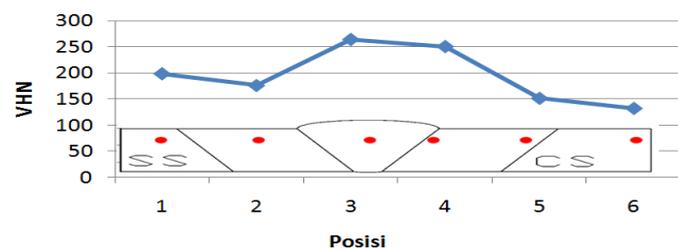
Gambar 10. Grafik kekerasan Vicker dengan PWHT 500°C

Daerah paling keras terletak pada titik daerah *weld metal* yang bernilai 220.6 VHN sedang daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon bernilai 205.3 VHN. Migrasi karbon dapat merubah kekuatan mekanik daerah tersebut menjadi keras, seperti yang diperlihatkan oleh struktur mikronya (gambar 10).



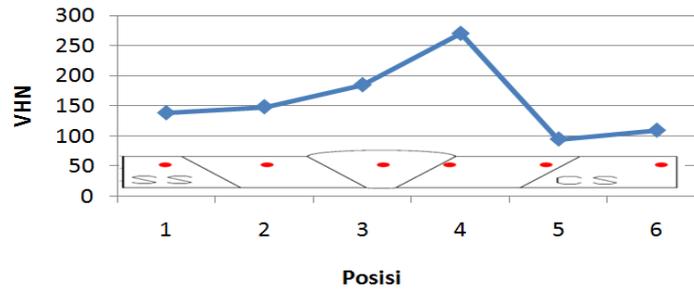
Gambar 11. Grafik kekerasan Vicker dengan PWHT 600°C

Gambar 11 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan frekuensi tinggi dari *base metal* sampai dengan *weld metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *base metal* dengan kekerasan 311.6 VHN. Daerah *weld metal* dan daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon memiliki nilai kekerasan yang hampir sama kekerasannya. Pada daerah ini memiliki nilai 253.5 dan 250.2 VHN tidak jauh signifikan perbedaannya, karena pada daerah batas memiliki *dark band* yang cukup lebar maka kekerasannya juga semakin meningkat.



Gambar 12. Grafik kekerasan Vicker dengan PWHT 700°C

Gambar 12 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan frekuensi tinggi dari *base metal* sampai dengan *weld metal* baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi masih pada daerah *weld metal* yang bernilai 263.7 VHN, tetapi daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon juga tinggi yang nilai kekerasannya melebihi daerah HAZ baja karbon dengan nilai 250.2 VHN. Adanya *dark band* disepanjang perbatasan mengakibatkan kekerasan pada daerah tersebut meningkat, walaupun pada struktur mikro tidak tampak jelas.



Gambar 13. Grafik kekerasan Vicker dengan PWHT 800°C

Gambar 13 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada titik daerah batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon yang mempunyai kandungan *dark band*. Kekerasan mencapai 270.9 VHN sehingga melebihi kekerasan yang dipersyaratkan oleh *NACE MR0715* dimana kekerasannya  $< 250$  VHN [7]. Serta menurunnya nilai kekerasan pada daerah HAZ baja karbon, dengan nilai 94.6 VHN. Pada daerah batas *weld metal* dengan HAZ memiliki kekerasan yang sangat tinggi dikarenakan adanya unsur migrasi karbon yang berdifusi dengan unsur krom (Cr) yang dapat membentuk fasa keras dan getas, dalam hasil pengujian mikrografi tidak terlihat dengan jelas unsur apa yang terkandung didalamnya, oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian SEM. Jika pada daerah batas memiliki kekerasan yang tinggi akibat migrasi karbon, maka efek dari itu semua mengakibatkan daerah HAZ disekitarnya akan mengalami daerah kekurangan karbon sehingga kekerasannya menurun hingga dibawah kekerasan pada *base metal*. Hal ini mengakibatkan turunya kekuatan pada material sehingga dapat terjadi kegagalan pada las frekuensi tinggi [2].

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh yang terjadi pada struktur mikronya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT terjadi pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon. hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian mikrografi, besar ukuran butir adalah 7.39  $\mu\text{m}$  untuk spesimen tanpa PWHT, 9  $\mu\text{m}$  untuk spesimen PWHT 400oC, 10.45  $\mu\text{m}$  untuk spesimen PWHT 500°C, 17.1  $\mu\text{m}$  untuk spesimen PWHT 600°C, 27.7  $\mu\text{m}$  untuk spesimen PWHT 700°C, dan 36.1  $\mu\text{m}$ . Berstruktur ferrit untuk spesimen PWHT 700°C dan 800°C. Pengaruh yang terjadi pada sifat mekaniknya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT maka pada daerah batas *weld metal* dengan HAZ baja karbon semakin keras, yaitu ditunjukkan dengan nilai kekerasan pada daerah ini yang semakin meningkat. Pada variasi temperatur PWHT 800oC nilai kekerasan mencapai 270.9 VHN tetapi terjadi penurunan nilai kekerasan pada HAZ baja karbon menjadi 94.6 VHN. Hal ini melebihi yang disyaratkan oleh *NACE MR0715*, dimana kekerasannya  $< 250$  VHN.

Pengaruh *preheat* dan PWHT pada high frequency welding, dengan *preheat* tanpa PWHT menimbulkan migrasi karbon pada daerah batas *weld metal* semakin besar. Struktur mikro ferrit pada daerah HAZ efek dari PWHT 800°C ini menunjukkan telah terjadi migrasi karbon yang besar disana, ditunjukkan dengan nilai kekerasan yang sangat rendah pada daerah ini yaitu 79.6 VHN, sedangkan pada daerah batas *weld metal* nilai kekerasannya tinggi yaitu 270.9 VHN, yang melebihi kekerasan dari *weld metal* dan *base metalnya*.

Terjadinya kegagalan hasil pengelasan dapat disebabkan dari dua hal yaitu, efek dari menurunnya kekuatan pada HAZ baja karbon sehingga menyebabkan kegagalan *creep* dan yang kedua, munculnya fasa getas berupa senyawa krom karbida ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) di daerah batas HAZ baja karbon dan *weld metal* yang terkandung *dark band*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Kou Sindo, 2003, “*Welding Metallurgy*“, second edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.  
 Lippold, John C, 2005, “*Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*“, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

- Okumura, Toshie., Wiryosumarto Harsono., 2000, "*Teknologi Pengelasan Logam*", Cetakan ke-8, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- ASTM, 2002, A-106, "*Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service*".
- AWS, 1997, WHB-4, "*Dissimilar Metals*"
- ASM team, 1993, "*ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*", American Society for Metals, The United States of America. NACE MR0175