



## Analisis Metode Temper Bead Welding sebagai Alternatif Pengganti PWHT pada Pembuatan Sulphuric Acid Storage Tank

MM. Munir<sup>1\*</sup>, M. Syaiful Amri<sup>1</sup>, Imam Khoirul<sup>1</sup>, Bachtiar<sup>1</sup>, Jaka Victoria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

**Abstrak.** Pada proyek EPC Smelter Manyar yang digunakan untuk pengolahan konsentrat tembaga, dilakukan pembuatan Sulfuric Acid Storage Tank yang menggunakan material SA 283 Grade C. Storage tank tersebut dilakukan proses *heat treatment* (PWHT, *post weld heat treatment*) yang bertujuan untuk mengurangi *residual stress* atau tegangan sisa pada material setelah dilakukan pengelasan. Proses pemanasan dan pendinginan saat pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dan properties material sehingga menimbulkan *residual stress* setelah pengelasan selesai. Pada proyek EPC Manyar Smelter ini, pelat dengan thickness diatas 25 mm harus dilakukan PWHT atau *stress relieving* melalui pemanasan pada temperatur dan jangka waktu tertentu. PWHT yang dilakukan di industri, memiliki kekurangan dalam pengerjaannya seperti terbatasnya *furnace*, biaya yang cukup besar dan membutuhkan waktu relatif lama. Oleh karena itu, perlu adanya solusi baru untuk meminimalisir kekurangan tersebut yaitu dengan metode *temper bead welding* (TBW). *Temper bead welding* (TBW) merupakan teknik pengelasan dengan menempatkan manik las (*bead*) pada lokasi tertentu pada proses pengelasan untuk merubah struktur mikro dan sifat mekanik pada material yang diharapkan memiliki sifat mekanik yang sama dengan metode PWHT. Teknik ini dalam perkembangannya, sangat efektif dan efisien dalam pengerjaan suatu proyek dan dapat mengurangi biaya yang besar. Hasil pengujian *hardness* pada teknik *Temper Bead Welding* menunjukkan nilai rata-rata *hardness* lebih tinggi daripada teknik PWHT, namun masih memenuhi syarat keberterimaan material SA 283 Grade C, pada standard NACE 0294 yaitu maksimal 248 HV. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa teknik *Temper Bead Welding* ini dapat digunakan sebagai alternatif pengganti PWHT.

*Katakunci:* *Hardness, PWHT, Residual stress, Relieving, Temper bead welding*

**Abstract.** In the Manyar Smelter EPC project used for copper concentrate processing, Sulfuric Acid Storage Tank is made using SA 283 Grade C material. Heat treatment process (PWHT), carried out to reduce residual stress or residual stress on the material after welding. The heating and cooling process during welding can cause changes in the microstructure and properties of the material, causing residual stress after welding is complete. On the Manyar Smelter EPC project, plates with a thickness above 25 mm must be carried out PWHT at a certain temperature and holding time. PWHT is carried out has limitation such as dimension of furnace, high-cost operations and take a relatively long time. There is an alternative solution to minimize these shortcomings, namely TBW methods. TBW is a welding technique by placing a welding bead at a certain location, to change the microstructure and

mechanical properties of the material which is expected to have the same mechanical properties as the PWHT method. This technique in its development, is very effective and efficient in working on a project and can reduce large costs. The hardness test results on the Temper Bead Welding technique show an average hardness value higher than the PWHT technique, but still meet the requirements for the acceptability of SA 283 Grade C material, in the NACE 0294 standard, which is a maximum of 248 HV. From these results show that this Temper Bead Welding technique can be used as an alternative to PWHT.

*Keywords:* Hardness, PWHT, Residual stress, Relieving, Temper bead welding.

## **Pendahuluan**

Pada proyek EPC Smelter Manyar, dalam pembuatan Sulphuric Acid Storage Tank yang menggunakan material SA 283 Grade C setelah dilakukan pengelasan, dilakukan proses heat treatment (PWHT, post weld heat treatment) yang bertujuan untuk mengurangi residual stress atau tegangan sisa pada material setelah dilakukan pengelasan. Proses pemanasan dan pendinginan saat pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dan properties material sehingga menimbulkan residual stress setelah pengelasan selesai.

Pada proyek EPC Manyar Smelter ini, pelat dengan thickness diatas 25 mm harus dilakukan PWHT atau stress relieving melalui pemanasan pada temperatur dan jangka waktu tertentu. Namun, pada kenyataannya di industri, PWHT yang dilakukan memiliki kekurangan dalam pengerjaannya seperti terbatasnya media pemanas, biaya yang dikeluarkan cukup besar dan membutuhkan waktu relatif lama. Oleh karena itu, perlu adanya solusi baru untuk meminimalisir kekurangan tersebut yaitu dengan metode *temper bead welding* (TBW). *Temper bead welding* (TBW) merupakan teknik pengelasan dengan menempatkan manik las (*bead*) pada lokasi tertentu pada prose pengelasan untuk merubah struktur mikro dan sifat mekanik pada material yang diharapkan memiliki sifat mekanik yang sama dengan metode PWHT. Teknik ini dalam perkembangannya, sangat efektif dan efisien dalam pengerjaan suatu proyek dan dapat mengurangi biaya yang besar.

Alternatif pengganti proses PWHT yang direkomendasikan oleh standar ASME adalah metode pengelasan temper bead welding TBW. Penelitian pengelasan *temper bead welding* yang dilakukan oleh (Yogi Ardyansah, 2012), penerapan TBW sebagai alternatif pengganti PWHT pada sambungan Stub to Harp Nozzle menggunakan material SA335 P22 to SA 106C di PT. ALSTOM POWER ESI Surabaya, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa TBW dapat menurunkan tegangan sisa (residual stress) dan kekerasan (hardness) pada sambungan *Stub-harp-nozzle*.

Arisandi (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh temper bead welding pada material las SA 516-70 terhadap ketangguhan, kekerasan dan struktur mikro, hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan las baik pada daerah HAZ dan logam. telah diperiksa. nilai kekerasannya menurun, pada saat uji impak Pada suhu kamar, kekuatan impak pada saat pengelasan post weld heat treatment (PWHT) dan temper bead welding mempunyai selisih sebesar 0,07 J/mm<sup>2</sup>. Oleh karena itu, pengelasan dengan temper bead welding dapat menjadi salah satu alternatif proses pengganti post weld heat treatment (PWHT).

Kareem, et.al. (2014) melakukan penelitian pada material A105 temper bead welding untuk melihat dampak proses ini terhadap perubahan struktur mikro, kekerasan dan tegangan sisa. Hasil dari proses ini menunjukkan bahwa *post weld heat treatment* (PWHT) dan *temper bead welding* (TBW) menghasilkan kekerasan yang memenuhi persyaratan Australian Standard AS2205.61-97 yaitu kurang dari 300 HVN. Namun berdasarkan hasil uji tegangan sisa, metode TBW masih memberikan penurunan tegangan sisa yang tidak terlalu besar.

Hsia Ling, et.al. (2015) melakukan penelitian pada material SS400 dengan cara pengelasan *dip bea temper bead welding*, menggunakan variasi pengelasan multi-pass temper bead welding, dengan varian 4-pass 4-layer dan 4-pass 10-layer. Penelitian yang dilakukan menurunkan nilai kekerasan pada daerah HAZ dan logam las, serta meningkatkan ketahanannya. Dari pengamatan mikrostruktur diperoleh struktur ferit dan ferit berbentuk jarum yang menunjukkan hasil annealing di wilayah HAZ. Munir, et.al. (2019) melakukan penelitian terhadap aplikasi temper bead welding (TBW) pada proses fabrikasi boogie LRT, dibandingkan dengan proses annealing yang dilakukan di perusahaan kereta api. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahawa temper bead welding, dapat dijadikan alternatif proses pengganti annealing yang dilakukan setelah bogie tersebut difabrikasi.

Abbaszadeh dan Derakhsandeh, (2018) meneliti tentang penggunaan TBW yang dapat menggantikan proses PWHT pada pengelasan SMAW untuk material baja 9Cr-1Mo dengan menggunakan elektrode E-NiCrFe3, E-309L dan E 8015. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa PWHT dapat disubstitusi dengan TBW *half bead technic*. WTIA (2006) menukil definisi yang direkomendasi oleh ASME boiler and *pressure vessel*, *temper bead welding* adalah metode pengelasan dengan menempatkan *weld bead* pada daerah spesifik, pada permukaan lasan dengan tujuan untuk memberikan perubahan sifat pada daerah HAZ atau pada daerah weld bead sebelumnya. Aplikasi dari TBW ini terus dikembangkan (Sperko, (2005), terutama digunakan untuk mensubstitusi proses pengelasan yang memerlukan post weld stress relief (PWSR) dan untuk mereduksi kekerasan pada daerah HAZ. Pada ASME IX edisi 2004, telah menempat klausul *temper bead welding* pada QW-290.

Kimberly dan Meszaros, (2010) menuliskan tentang penggunaan metode TBW dalam berbagai code/standarg pada artikel berjudul “Conecting The Codes From Temper Bead Welding to the ASME code, CSA Code and NBIC”. Pada artikel tersebut menunjukkan penggunaan istilah TBW dalam beberapa code, diantaranya API 510 menyebutkan dengan istilah *controlled deposition welding technic* (CDW), sedangkan pada NBIC part 3, menyebut dengan istilah *alternative welding methods without post weld heat treatment*, sedangkan CSA Z662, tidak secara spesifik menyebutkan istilah TBW tetapi mengijinkan pengguna code tersebut memakai rujukan ASME section IX, termasuk didalamnya yang berkaitan dengan TBW.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Post Weld Heat Treatment

PWHT merupakan bagian dari proses *heat treatment* yang tujuannya menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk akibat proses pengelasan. *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) umumnya digunakan untuk memulihkan sifat mekanik yang memburuk, menghilangkan tegangan sisa yang terperangkap, hidrogen yang terperangkap difusi, dan meredam struktur

mikro dari zona yang terkena panas (HAZ). PWHT biasanya dilakukan tergantung pada ketebalan atau kandungan paduan komponen yang diperbaiki. Meskipun PWHT sangat penting setelah perbaikan las, ada sejumlah batasan terkait. Misalnya, PWHT pada komponen baja besar dan berat di utilitas listrik dan kilang petrokimia sangatlah mahal dan memakan waktu (Aloraier dkk., 2014).

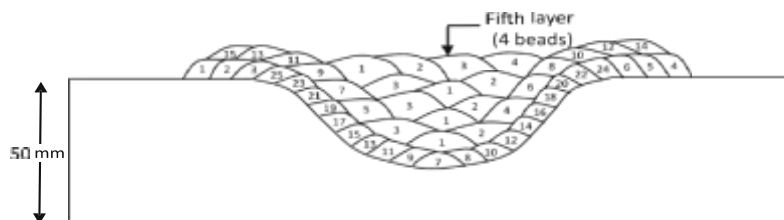
## 2.2 Temper Bead Welding

Metode *temper bead welding* sering digunakan untuk mengoptimalkan sifat lasan, yang mana metode ini bisa menggantikan proses PWHT. *Temper bead welding* didefinisikan sebagai penempatan manik manik las (*bead*) pada lokasi spesifik dalam lasan maupun permukaan las yang tujuannya mempengaruhi *metallurgical properties* dari HAZ dan deposit setiap pengelasan sebelumnya (*American Society of Mechanical Engineers Section IX*, 2021).

Alternatif untuk PWHT adalah *temper bead welding* (TBW), yang mencoba untuk mengontrol pengendapan lapisan las selama perbaikan las. Lapisan pertama (lapisan *butter*) harus diendapkan dengan *heat input* rendah untuk memastikan penetrasi minimum tetapi harus cukup untuk mengamankan fusi ke dalam bahan induk, sedangkan lapisan berikutnya (lapisan *tempering*) diendapkan dengan *heat input* yang lebih tinggi untuk menungkingkan penetrasi melalui yang pertama. Panas dari lapisan kedua akan memurnikan dan meredam HAZ berbutir kasar dari lapisan pertama dan dengan demikian akan memberikan ketangguhan takik HAZ yang jauh lebih baik dan menghilangkan kemungkinan retak akibat pemanasan ulang. Tempering HAZ sangat penting karena membuat HAZ kurang rentan terhadap retak selama terpapar suhu panas. TBW membutuhkan produksi banyak lasan uji dan pemeriksaan *metalografi* sebelum kepercayaan cukup diperoleh untuk melakukan lasan perbaikan yang sebenarnya (Aloraier dkk., 2014).

*Temper bead* adalah perlakuan khusus dimana dilakukan pada *repair*. Dalam penelitian ini akan digunakan *temper bead* dengan teknik *Half Bead Technique* dan *Controlled Deposit Weld*. Teknik *Controlled Deposit Weld* digunakan untuk mengantisipasi adanya potensi *re-heat cracking*. Teknik ini digunakan pada proses las SMAW dengan cara mengontrol rasio *heat input* antara satu *layer* dengan *layer* selanjutnya. *Heat input* pada *layer* kedua 1.3 sampai 1.8 kali lebih besar dari *heat input* pada *layer* pertama. Teknik ini dirancang untuk menghasilkan perbaikan struktur dan *men-tempering* daerah HAZ (Dascau, 2019).

Sedangkan teknik *Half bead technique* merupakan teknik pengelasan SMAW menggunakan ukuran diameter elektroda yang meningkat (dimulai dari 2.5 mm, dan 3.2 mm). Perubahan ukuran diameter sangat berpengaruh pada peningkatan *heat input*. Area yang akan dilas dibersihkan dan dipanaskan terlebih dahulu dengan teknik *buttering* sebagai lapisan pertama dengan elektroda 2.5 mm. Kemudian dihilangkan sekitar 50% dengan cara digerinda. Selanjutnya dilakukan pengelasan lagi pada area tersebut menggunakan elektroda 3.2 mm begitupun seterusnya. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan ilustrasi skematis deposit *temper bead welding* (Dascau, 2019).



**Gambar 1** Ilustrasi Skematis *Deposite Manik Las* Dalam TBW (Aloraier dkk., 2014)

### 3. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa metode *temper bead welding* sebagai alternatif substitusi proses PWHT *sulfuric acid storage tank* dengan menggunakan material SA 283 grade C. Adapun variasi TBW (*temper bead welding*) yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menggunakan *half bead technique* dan *controlled deposit weld holding time*.

Proses pengelasan dilakukan terhadap material SA 283 grade C dengan komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1** Komposisi kimia material SA-283 Grade C

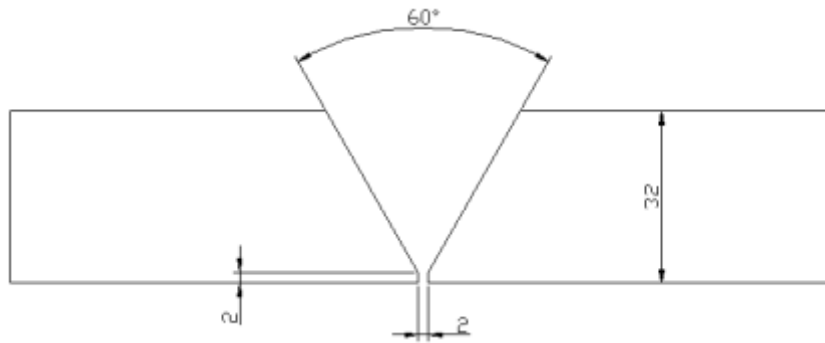
Unsur Paduan	Komposisi %
<i>Carbon</i>	0.16
<i>Silicon</i>	0.247
<i>Manganese</i>	0.791
<i>Phosphorus</i>	0.014
<i>Sulfur</i>	0.005
<i>Chromium</i>	0.014
<i>Nickel</i>	0.008
<i>Cuprum</i>	0.017
<i>Molybdenum</i>	0.002
<i>Niobium</i>	0.003
<i>Vanadium</i>	0.002

Sumber: *mill certificate SA-283 Grade C*

Proses pengelasan menggunakan mesin las SMAW, dengan ketebalan 32 mm. Jenis sambungan las yang digunakan adalah *butt joint single V*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Variabel proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*
2. Proses *Temper bead welding* dengan metode *Half bead technique*
3. Proses *Temper bead welding* dengan metode *Controlled Deposit Weld*

Analisis Metode Temper Bead Welding sebagai Alternatif Pengganti PWHT Pada Pembuatan Sulphuric Acid Storage Tank



**Gambar 2.** Dimensi coupon test

Data *actual* proses pengelasan dengan PWHT, ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Proses Pengelasan dengan PWHT

<i>Bead</i>	Proses Las	Arus (Ampere)	Voltase (Volt)	<i>Travel Speed</i> (mm/min)	<i>Heat Input</i> (kJ/mm)
1	SMAW	104	23	60	2.39
2	SMAW	104	22	60	2.29
3	SMAW	105	23	60	2.42
4	SMAW	110	22	60	2.42
5	SMAW	107	19	60	2.03
6	SMAW	108	20	62	2.09
7	SMAW	109	21	63	2.18
8	SMAW	110	22	65	2.23
9	SMAW	112	23	65	2.38
10	SMAW	113	23	65	2.40
11	SMAW	108	24	66	2.36
12	SMAW	109	22	65	2.21
13	SMAW	110	21	68	2.04
14	SMAW	113	20	60	2.26
15	SMAW	112	19	62	2.06
16	SMAW	115	23	63	2.52
17	SMAW	108	24	63	2.47
18	SMAW	107	23	64	2.31
19	SMAW	109	22	62	2.32
20	SMAW	110	23	63	2.41

Parameter pengelasan pada Tabel 3, merupakan data proses pengelasan *temper bead welding* dengan *Half bead technique*.

**Tabel 3.** Proses Pengelasan TBW dengan Half bead technique

<i>Bead</i>	<i>Layer</i>	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	<i>Travel Speed</i> (mm/min)	Diameter Elektroda (mm)	<i>Heat Input</i> (kJ/mm)
1	1	105	22	70	2.4	1.98
2	2	104	23	70	2.4	2.05
3		99	23	68	2.4	2.01
4	3	110	22	73	2.4	1.99
5		109	22	68	2.4	2.12
6		115	25	67	2.4	2.57
7	4	115	23	71	3.2	2.24
8		114	23	70	3.2	2.25
9		115	24	70	3.2	2.37
10		115	23	68	3.2	2.33
11	5	115	23	70	3.2	2.27
12		115	24	70	3.2	2.37
13		115	24	69	3.2	2.4
14		115	26	69	3.2	2.6
15		116	25	70	3.2	2.49
16	6	116	23	67	3.2	2.39
17		116	24	68	3.2	2.46
18		115	27	69	3.2	2.7
19		117	25	71	3.2	2.47
20		120	24	70	3.2	2.47
21	7	120	23	70	3.2	2.37
22		125	23	71	3.2	2.43
23		125	23	70	3.2	2.46
24		125	23	69	3.2	2.5
25		125	23	68	3.2	2.54
26		126	22	68	3.2	2.45
27	8	130	22	68	3.2	2.52
28		130	23	70	3.2	2.56
29		130	23	70	3.2	2.56
30		130	22	70	3.2	2.45
31		130	24	71	3.2	2.64
32		135	22	71	3.2	2.51

Parameter pengelasan yang terlampir pada Tabel 4, merupakan data proses pengelasan *temper bead welding* dengan *Controlled Deposit Weld*.

**Tabel 4.** Proses Pengelasan dengan Controlled Deposit Weld

<i>Bead</i>	<i>Layer</i>	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	<i>Travel Speed</i> (mm/min)	Diameter Elektroda (mm)	<i>Heat Input</i> (kJ/mm)	Persentase Kenaikan <i>Heat Input</i> (%)
1	1	105	22	70	2.4	1.98	2 %
2	2	102	23	70	2.4	2.01	
3		103	23	70	2.4	2.03	
4	3	104	23	69	2.4	2.08	1.8 %
5		104	22	68	2.4	2.02	
6		105	23	70	2.4	2.07	
7	4	105	23	70	3.2	2.07	1.6 %
8		106	23	70	3.2	2.09	
9		106	23	70	3.2	2.09	
10	5	107	23	70	3.2	2.11	1 %
11		108	23	70	3.2	2.13	
12		107	22	70	3.2	2.02	
13		107	23	69	3.2	2.14	
14	6	108	23	69	3.2	2.16	1.5 %
15		109	22	68	3.2	2.12	
16		110	22	69	3.2	2.10	
17		109	23	70	3.2	2.15	
18	7	111	22	70	3.2	2.09	1.8 %
19		112	22	70	3.2	2.11	
20		113	22	69	3.2	2.16	1.8 %
21		113	23	69	3.2	2.26	
22		115	22	68	3.2	2.23	1.4 %
23	8	114	22	70	3.2	2.15	
24		115	23	70	3.2	2.27	
25		116	22	70	3.2	2.19	
26		115	22	69	3.2	2.20	
27		116	22	70	3.2	2.19	
28		117	22	70	3.2	2.21	
29	9	119	22	70	3.2	2.24	2.5 %
30		121	22	70	3.2	2.28	
31		120	22	70	3.2	2.26	
32		117	22	69	3.2	2.24	
33		119	22	69	3.2	2.28	
34		117	22	69	3.2	2.24	

**Pengujian**



Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas hasil pengelasan dengan metode PWHT dan TBW, sebagai bahan rekomendasi substitusi alternatif pengganti PWHT dalam proses produksi tanki *sulphuric acid*. Pengujian yang dilakukan adalah *Visual inspection* dan *Hardness test*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil Pengujian

##### 3.1.1. Visual inspection

Inspeksi *visual* dilakukan untuk mengetahui ada dan tidaknya cacat dan mengukur *reinforcement* pada hasil pengelasannya. Detail dari inspeksi dapat dilihat di Gambar 2.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.** Hasil Pengukuran Reinforcement Menggunakan *Welding Gauge* (a) PWHT (b) *Half bead technique* (c) *Controlled Deposit Weld*

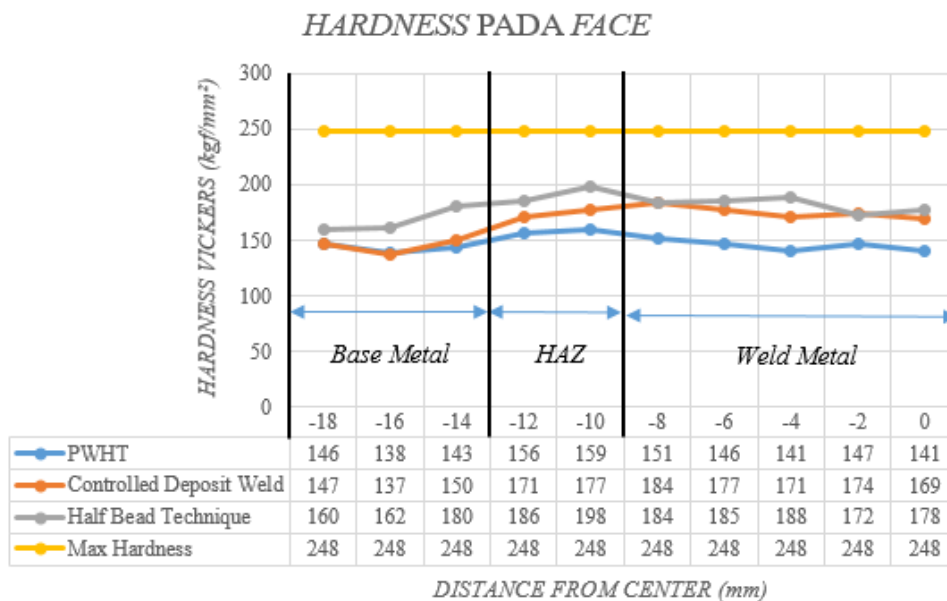
Hasil pengukuran menggunakan *welding gauge* didapatkan hasil sebagai berikut :

- |                                              |                                      |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|
| a. PWHT                                      | : tinggi <i>reinforcement</i> 1 mm   |
| b. TBW dengan <i>Half bead technique</i>     | : tinggi <i>reinforcement</i> 1 mm   |
| c. TBW dengan <i>Controlled Deposit Weld</i> | : tinggi <i>reinforcement</i> 1.5 mm |

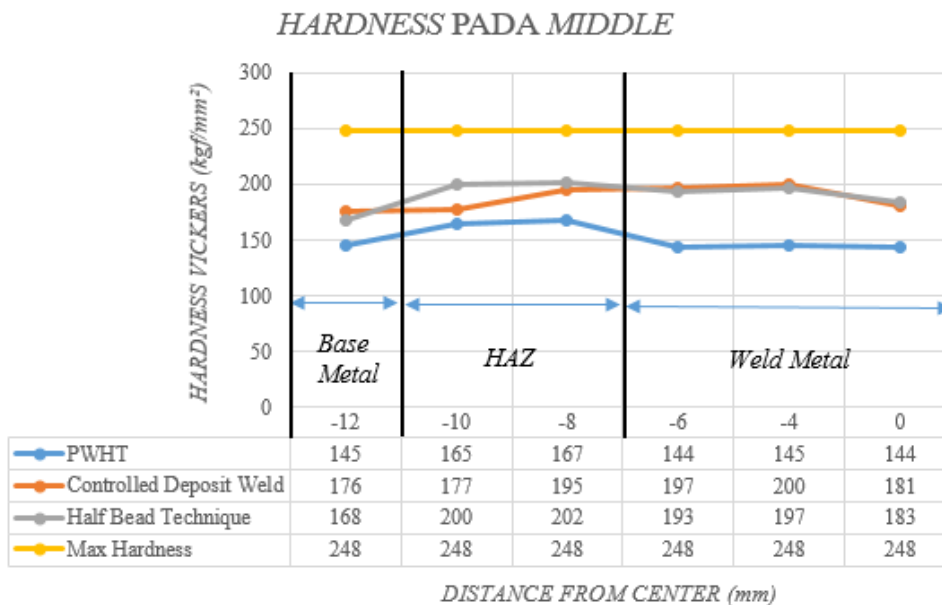
##### 3.1.2. *Hardness test*

*Hardness test* dilakukan pada ketiga variabel, PWHT, *Temper bead welding* dengan *half bead technique*, dan *temper bead welding* dengan *control deposite weld*. Untuk mengetahui

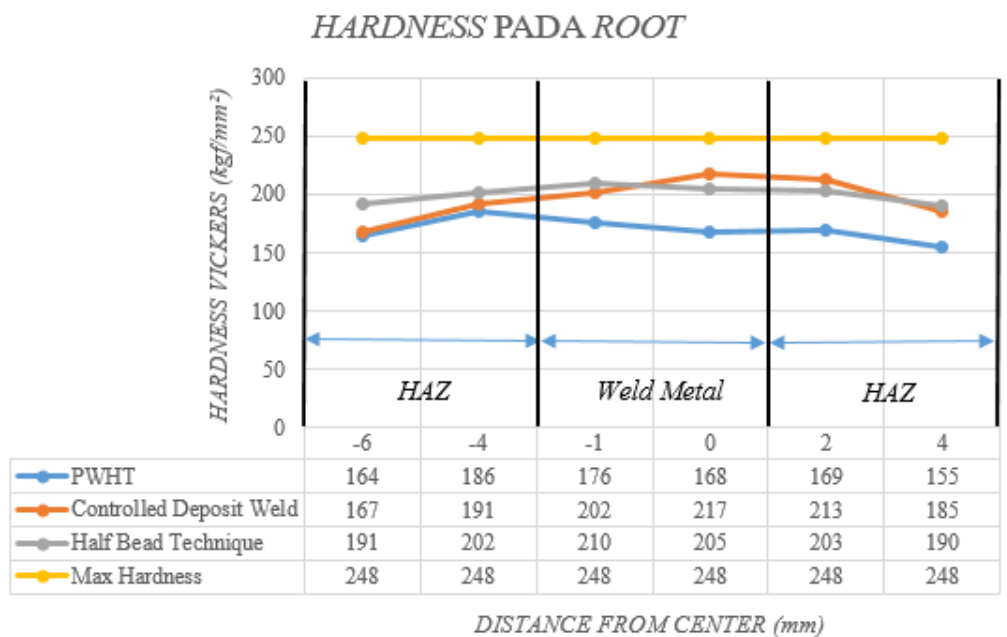
hasil kekerasan yang terjadi dilakukan pengujian pada daerah *face weld*, *middle weld*, dan *root weld*, hasil pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



**Gambar 4.** Grafik Nilai Hardness Pada Face Weld



**Gambar 5.** Grafik Nilai Hardness Pada Middle Weld



**Gambar 6.** Grafik Nilai *Hardness* Pada *Root Weld*

### 3.2. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil visual inspection yang telah dilakukan tidak ditemukan cacat pengelasan (*weld defect*) pada permukaan (*surface*) dan pada bagian *root*. Syarat keberterimaan (*acceptance criteria*) untuk visual inspection sesuai code ASME IX QW-194 adalah: bahwa pada test coupon tidak boleh ada cacat pengelasan crack, harus complete joint penetration, dan complete joint fusion antara weld metal dan base metal. Hasil visual inspection telah memenuhi syarat keberterimaan (*acceptance criteria*) dan dinyatakan *accepted*.

Hasil pengujian *hardness* pada teknik Temper bead welding menunjukkan bahwa TBW dengan *Controlled deposit weld* dan TBW dengan *Half bead technique* keduanya memiliki rata-rata nilai *hardness* yang lebih tinggi daripada variabel PWHT, nilai *hardness* ini masih *accepted* mengacu pada *acceptance criteria* standard NACE 0294 yang digunakan sebagai acuan fabrikasi sulphuric acid tank. Hal ini menunjukkan bahwa teknik Temper bead welding ini dapat digunakan sebagai alternatif pengganti PWHT. Nilai kekerasan yang lebih rendah akibat terjadinya perubahan struktur mikro pada daerah weld metal dan daerah HAZ (*heat affected zone*). Perubahan struktur mikro yang terjadi akibat panas yang diberikan saat melakukan proses PWHT dan TBW, sehingga efek ada heat input pengelasan tersebut dapat menurunkan laju pendinginan, yang berdampak pada perubahan struktur mikro sehingga sifat mekanik (kekerasan) menjadi lebih rendah, dengan bahasa yang berbeda nilai residual stress akan berkurang.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kualitas hasil pengelasan dengan proses PWHT, TBW dengan *half bead technique*, dan TBW dengan controlled deposit weld, secara visual inspection dapat diterima (*accepted*), karena tidak menunjukkan adanya cacat yang melebihi acceptance criteria, dan ketinggian reinforcement weld masih memenuhi persyaratan *code* yang tidak boleh melebihi 2 mm. Sedangkan hasil pengujian hardness, menunjukkan nilai *hardness* variabel TBW dengan *half bead technique* dan TBW dengan controlled deposit weld, masih lebih tinggi dibanding variabel PWHT, tetapi hasil pengujian kedua teknik TBW tersebut masih memenuhi persyaratan untuk sulphuric acid tank mengacu pada standard NACE 0294-2006, yang menyatakan hardness material carbon steel untuk sulphuric acid tank tidak boleh melebihi 248 HV. Sehingga dari kedua hasil pengujian tersebut TBW dengan *half bead technique* dan TBW dengan controlled deposit weld dapat digunakan sebagai alternatif pengganti proses PWHT.

#### Ucapan terima kasih

Penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada Direksi Polteknik Perkapalan Negeri Surabaya atas kesempatan yang diberikan pada penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Dan semoga penelitian ini dapat memberikan sumbangsih ide penerapan proses TBW sebagai alternatif pengganti PWHT dalam proses fabrikasi di dunia industri.

#### Daftar Pustaka

- Abdul Kareem S, Alorair, et.al, (ASM International 2014), Hardness, Microstructure, and Residual Stresses in Low Carbon Steel Welding with Post-weld Heat Treatment and Temper Bead Welding
- Andriansyah, Yogi. (2012). Aplikasi Temper Bead Welding (TBW) Untuk Menggantikan Proses Post-Weld Heat Treatment (PWHT) Pada Sambungan Stub to Harp Nozzle Dengan Material SA 335 P22 to SA 106 C di PT. Alstom Power ESI – Surabaya. Tugas Akhir di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya
- ASME. (2015). ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section IX, : Welding and Brazing Qualification. ASME, New York.
- Kimberly, Meszaros, (2013), connecting the codes from temper bead welding to the ASME code, CSA Code and NBIC. CASTI
- Kuo-Hsia Ling, et.al (2015), Effect of welding sequence of a multi-pass temper bead in gas-shielded flux-cored arc welding process: hardness, microstructure, and impact toughness analysis
- Moh. Alikhsan A. (2013), Pengaruh Teknik Temperbead Welding pada Pengelasan Material SA 516 Grade 70 Sebagai Pengganti PWHT terhadap Toughness, Hardness dan Struktur Mikro, Tugas Akhir di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Munir, MM., dkk (2018). Pengaruh welding sequence pada multipass temper bead welding sambungan bogie LRT PT. INKA terhadap distorsi, struktur mikro dan kekerasan
- Sperko, Walter J. (2005), Exploring Temper Bead Welding, AWS : Welding Journal.

Analisis Metode Temper Bead Welding sebagai Alternatif Pengganti PWHT  
Pada Pembuatan Sulphuric Acid Storage Tank

Welding Technology Institute of Australia.(2006).Temper Bead Welding, Australia