

PENERAPAN *POSTWELD HEAT TREATMENT* PADA PROSES PENGELASAN *TUNGSTEN INERT GAS* BAJA TAHAN KARAT

Agus Duniawan¹

Teknik Mesin, *Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta*
Jl. Kalisahak no.28 Kompl. Balapan, Yogyakarta
E-mail : Agusduniawan@gmail.com

INTISARI

Bengkel teknologi tepat guna yang memproduksi alat-alat pertanian, mengaplikasikan jenis pengelasan, antara lain : las asetilin (*Oxy-Acetylene*), las busur listrik, las MIG (*metal inert gas*), dan las TIG (*tungsten inert gas*). Pengelasan TIG diaplikasikan untuk proses penyambungan baja tahan karat (*stainless steel*). Bengkel teknologi tepat guna tidak pernah melakukan uji teknik untuk mengetahui karakteristik sambungan las yang dihasilkan. Pada kesempatan ini akan diangkat tema mengenai pengaruh *postweld heat treatment* terhadap sifat fisis dan sifat mekanis baja tahan karat pada pengelasan tungsten inert gas, diharapkan dapat memberikan masukan data teknis kepada bengkel yang memproduksi alat-alat pertanian. Batasan masalah penerapan PWHT: 550 °C, 600°C, dan 650°C. Pengujian yang digunakan meliputi : pengujian Komposisi, pengujian kekerasan (*rockwell*), dan pengujian tarik. Data hasil uji komposisi bahan baja tahan karat yang digunakan dalam penelitian merupakan baja tahan karat austenitik, memiliki kandungan Cr 15,1%, Ni 0,836% dan C 0,0602%. Harga kekerasan didaerah las spesimen Non PWHT (spesimen A) 73,3 HRC, pada PWHT 550°C (spesimen B) 79,2 HRC, pada PWHT 600°C (spesimen C) 66,7 HRC, pada PWHT 650°C (spesimen D) 70,3 HRC. Harga kekerasan pada daerah HAZ menunjukkan pola yang sama dengan pola kebalikan dengan daerah las yaitu menunjukkan kekerasan yang meningkat dibandingkan daerah las pada setiap temperatur PWHT yang digunakan, pada spesimen Non PWHT (spesimen A) 73,7-75,8 HRC, pada spesimen PWHT 550°C (spesimen B) 79,3-82 HRC, pada PWHT 600°C (spesimen C) 67,5-69,7 HRC, pada PWHT 650°C (spesimen D) 71,5-72,8 HRC. Rata-rata kekuatan tarik untuk Non PWHT (spesimen A) 28,91 kg/mm², PWHT 550°C (spesimen B) 28,64 kg/mm², PWHT 600°C (spesimen C) 31,35 kg/mm², PWHT 650°C (spesimen D) 32,94 kg/mm². Rata-rata kekuatan luluh untuk Non PWHT (spesimen A) 26,64 kg/mm², PWHT 550°C (spesimen B) 27,71 kg/mm², PWHT 600°C (spesimen C) 25,58 kg/mm², PWHT 650°C (spesimen D) 28,10 kg/mm².

Kata Kunci : Baja Tahan karat, TIG, PWHT, Pengujian Kekerasan dan Uji tarik

1. PENDAHULUAN

Pengelasan adalah kumpulan teknologi untuk memperoleh suatu sambungan mati yang dilakukan dengan pemanasan yang mencapai suhu titik cair dari logam dengan menggunakan bahan tambah atau tanpa bahan tambah. Proses pengelasan melibatkan energi panas, karena hal ini logam khususnya kelompok baja pada daerah sekitar pengelasan mengalami siklus *thermal* cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan metalurgi yang rumit, deformasi, dan tegangan – tegangan *thermal*. Hal – hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak, dan perubahan lainnya yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dari konstruksi yang dilas.

Bengkel teknologi tepat guna yang memproduksi alat-alat pertanian dan industri mengaplikasikan berbagai jenis teknologi pengelasan, antara lain : las asetilin (*Oxy-Acetylene*), las busur listrik, las MIG (*metal inert gas*), dan las TIG (*tungsten inert gas*). Pengelasan TIG diaplikasikan untuk proses penyambungan pembuatan tabung alat-alat teknologi tepat guna yang menggunakan bahan baja tahan karat tidak pernah melakukan uji teknik untuk mengetahui

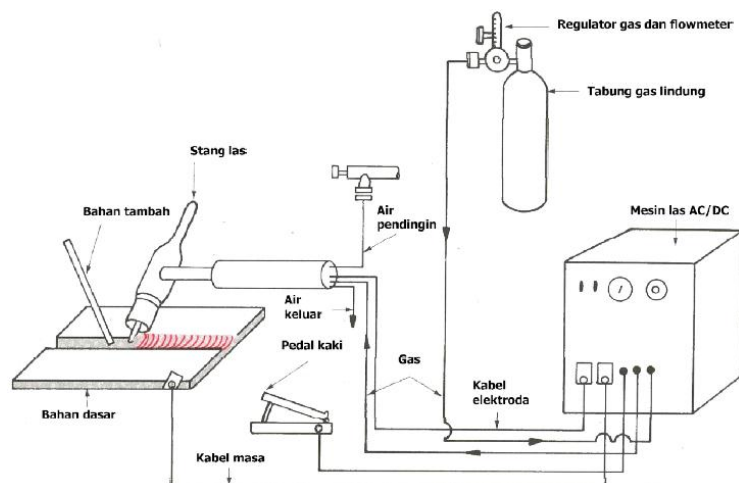
karakteristik sambungan las yang dihasilkan. Permasalahan yang terjadi pada pengelasan baja tahan karat adalah terbentuknya tegangan sisa dan distorsi akibat angka pemuaian yang lebih besar dari pada baja, penurunan ketahanan korosi, penurunan sifat mekanis dan penggetasan akibat terbentuknya endapan halus (*precipitate*) karbida krom yang mengendap di antara batas butir, menghasilkan tegangan sisa, efek tegangan sisa menyebabkan terjadinya *stress corrosion cracking* (SCC). yang perlu diperhatikan dalam pengelasan baja tahan karat adalah memberikan kondisi bebas retak pada lasan dan menjaga lasan maupun daerah yang terpengaruh panas (HAZ) memiliki sifat ketahanan korosi sama dengan logam dasarnya. Untuk mengatasi masalah ini dilakukan *post weld head treatment* (PWHT) pada sambungan las baja tahan karat.

Tujuan pada penelitian penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan *tungsten inert gas*, untuk mengetahui pengaruh temperatur pengelasan *postweld heat treatment* terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan TIG pada baja tahan karat yang digunakan pembuatan tabung

Manfaat penelitian penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan *tungsten inert gas* ini untuk mendapatkan data – data mekanis hasil pengelasan TIG dengan penerapan *postweld heat treatment* pada bahan uji.

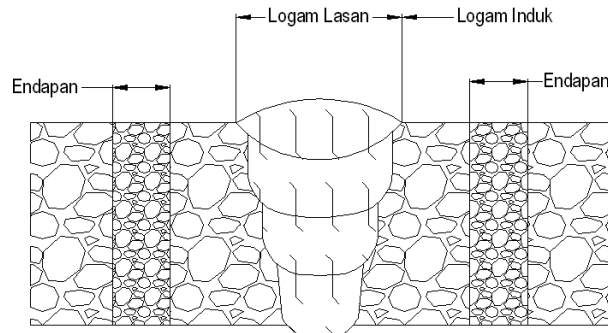
Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*) adalah kategori baja paduan yang sangat luas penggunaannya (Surdia, T., 1995). *Stainlees Steel* merupakan paduan dari *chromium*, *chromium-nickel*, atau *chromium-nickelmangan*, yang terklasifikasi dalam tiga tipe/tingkatan diantaranya : seri *martensit*, seri *ferrit*, dan seri *austenit*.

Las *Tungsten Inert Gas* (Las TIG) adalah proses pengelasan dimana busur nyala listrik ditimbulkan oleh elektroda tungsten (elektroda tak terumpan/ *nonconsumable electrode*/elektroda tidak berfungsi sebagai bahan tambah, elektroda hanya berfungsi sebagai pencipta busur nyala yang digunakan mencairkan kawat las yang ditambahkan dan benda yang akan disambung menjadi satu kesatuan) dengan benda kerja logam. Daerah pengelasan dilindungi oleh gas lindung (gas tidak aktif) agar tidak berkontaminasi dengan udara luar. Kawat las dapat ditambahkan atau tidak tergantung bentuk sambungan dan ketebalan benda kerja yang dilas.



Gambar 1. Diagram Mesin Las gas Tungsten Berikut Perlengkapannya
(Anonim-a, 2004:12)

Mampu Las (*Weldability*) Baja Tahan Karat adalah baja paduan tinggi, maka jelas kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi dan menjadi getas oleh panas dan atmosfer pengelasan. Sifat mampu las dari masing-masing jenis baja tahan karat adalah ,Baja tahan karat jenis martensit, ferit, dan jenis austenit,



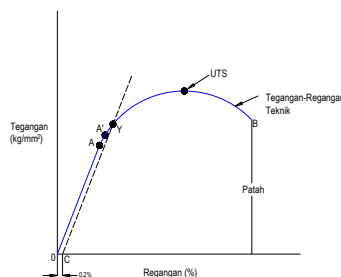
Gambar 2. Endapan antar butir Karbid Khrom pada baja tahan karat
(Harsono .W & T. Okumura, 2000 : 112)

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji, apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Pada pengujian tarik benda uji diberi beban tarik yang besarnya secara kontinu dan satu sumbu terhadap benda uji yang diamati pertambahan beban (F) & pertambahan panjang (Δl). Tegangan (stress) yang terjadi pada benda uji adalah beban (F) persatuan luas penampang (A) :

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Sedang pertambahan panjang dinyatakan dengan regangan yaitu pertambahan panjang dibagi dengan panjang awal (L_0) pada panjang ukur (*gauge length*) :

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{L_t - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 3. Grafik tegangan – regangan (George E. Dieter, 1987:8)

Keterangan untuk **Gambar 3.** adalah sebagai berikut :

1. Garis OA adalah daerah proporsional atau daerah Elastis. Pada daerah elastis berlaku Hukum Hooke :

$$\Delta l = \frac{F}{A_0} \times \frac{L_0}{E} \text{ atau } \sigma = E\varepsilon \dots\dots\dots (3)$$

2. Titik A adalah batas elastik dan titik A' adalah batas proporsional
3. Titik Y adalah Tegangan Luluh (*yield*) dapat ditentukan dengan metode offset yaitu dengan menarik garis sejajar garis elastisitas pada titik 0,2% regangan.
4. Garis Y – UTS adalah daerah plastis ,Titik UTS (*ultimate tensile strength*) Tegangan maksimum bahan..

Pengujian Kekerasan dengan Metode Rockwell

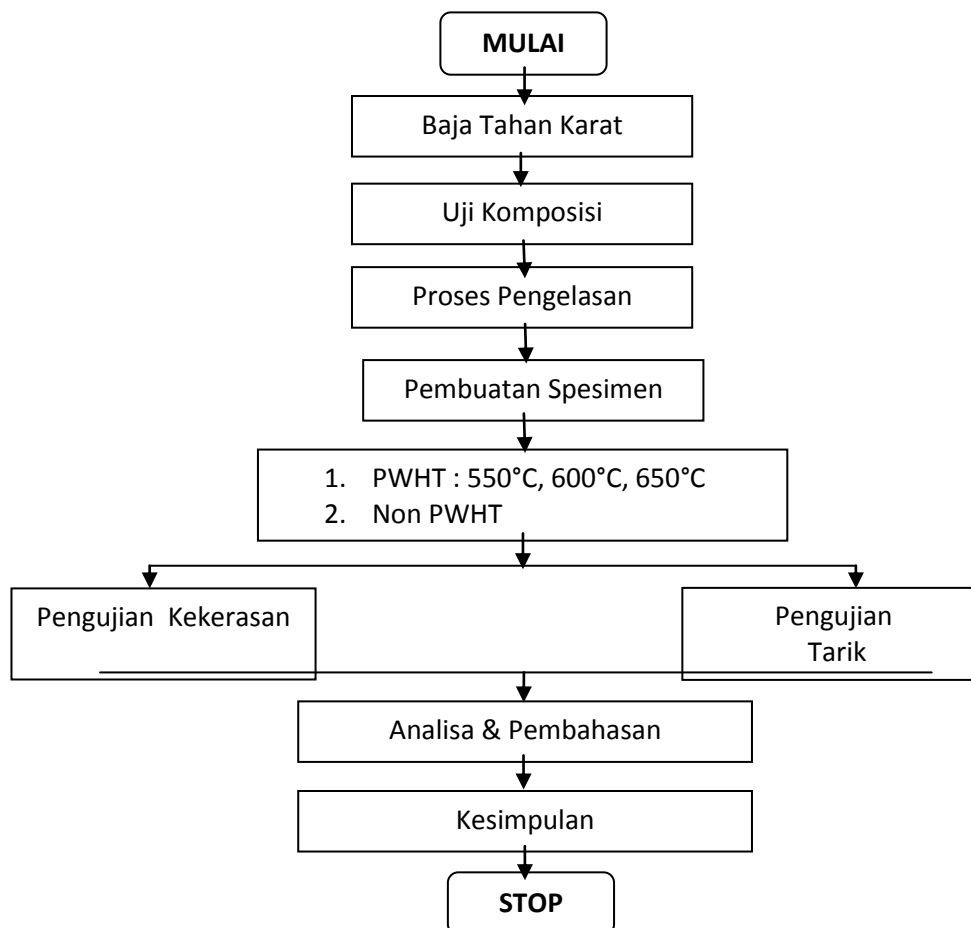
Makna nilai kekerasan suatu material adalah ketahanan material terhadap penetrasi ukuran dari tegangan alir, keausan, goresan, dan untuk para mekanik *work-shop* lebih bermakna kepada ketahanan material terhadap pemotongan dari alat potong, maka kekerasan suatu material dapat

didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*scratching*), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji.

2. METODE PENELITIAN

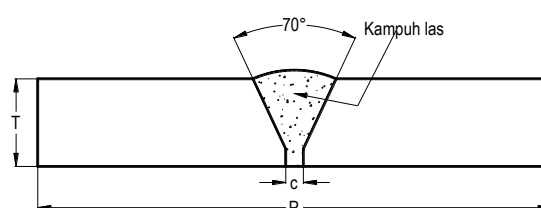
2.1 Diagram Alir Penelitian

Urutan penelitian penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan tungsten inert gas ditunjukkan oleh diagram alir (*flowchart*) **Gambar 4**.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Bahan ,yang digunakan pada penelitian adalah jenis baja tahan karat, adapun komposisi kimia baja tahan karat ditunjukkan oleh **Tabel 1** . Parameter Proses Pengelasan menggunakan mesin las TIG dengan jenis kampuh sambungan alur V dengan sudut 70° dan tebal plat 2 mm, lebar 20 cm dan panjang 15 cm. seperti **Gambar 5**.



Gambar 5. bentuk sambungan las

Tabel 1. Komposisi kimia baja tahan karat

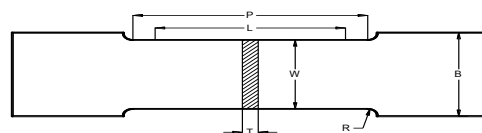
No	Unsur	Komposisi kimia *) Baja Tahan Karat (%)	Komposisi Kimia Filler** (%)
1	Fe (Ferro)	71,5	
2	C (Carbon)	0,0606	0,05
3	Si (Silikon)	0,204	0,4
4	Mn (Mangan)	10,5	1,8
5	P (Pospor)	0,0982	<0,03
6	S (Sulfur)	0,0072	<0,03
7	Cr (Khrom)	15,1	20
8	Ni (Nikel)	0,836	9,3
9	Mo (Molibden)	<0,0050	<0, 3
10	Cu (Tembaga)	1,27	<0, 3
11	Al (Aluminium)	<0,0020	
12	Ti (Titanium)	0,0189	
13	W (Wolfram)	<0,0250	
14	Pb (Plumbum)	0,0162	
15	Nb (Niobum)	0,0286	
16	V (Vanadium)	0,107	
17	Co (Cobalt)	0,0875	

*) Laboratorium Logam Ceper

Parameter las yang digunakan sebagai berikut :

Filler ER.308 diameter: 1,6 mm , arus (I) : 60 Amper ,tegangan (E): 19 Volt Kecepatan (V): 3 mm/s, Gas pelindung: Argon.

Spesimen Pengujia tarik, bentuk spesimen menggunakan standarisasi JIS Z2201 ditunjukkan oleh **Gambar 6.**



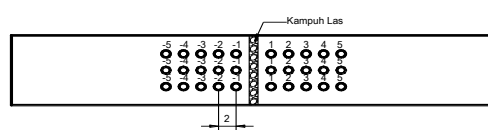
Gambar 6. Spesimen uji tarik

Tabel 2. Ukuran Spesifikasi spesimen uji tarik

W	Panjang Ukur (L)	Panjang Paralel (P)	Radius (R)	Tebal (T)
16 mm	32 mm	46 mm (mendekati)	15 mm	Tebal dari material

(Standar JIS Z2201, 1980:31)

Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 30 (tiga puluh) titik pengujian untuk masing-masing spesimen skema pengujian ditunjukkan oleh **Gambar 7.** Jumlah spesimen uji sebanyak 16 (enam belas) buah, pada **Tabel 3.**



Gambar 7. Jejak uji kekerasan pada spesimen

Tabel 3. Jumlah spesimen dan perincian pengujian

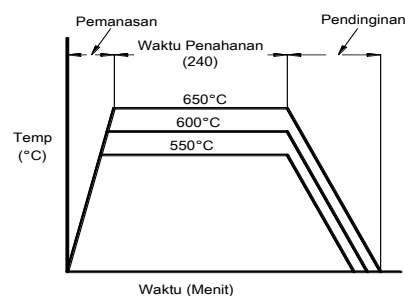
No	Sampel	Jumlah	Keterangan
1	Uji tarik	12	1. Las Non PWHT (3 spesimen)
			2. Las PWHT 550°C (3 spesimen)
			3. Las PWHT 600°C (3 spesimen)
			4. Las PWHT 650°C (3 spesimen)
3	Uji kekerasan	4	1. Las Non PWHT (1 spesimen)
			2. Las PWHT 550°C (1 spesimen)
			3. Las PWHT 600°C (1 spesimen)
			4. Las PWHT 650°C (1 spesimen)

2.2 Pengujian

Pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell* skala C karena skala C dapat *steel, hard cast irons, pearliticmalleable iron, titanium, deep case-hardened steel, and other materials harder than 100 HRB*. Adapun urutan pelaksanaan pengujian kekerasan (*hardness tester*) dilaksanakan sebanyak satu kali dengan lima titik pengujian untuk setiap spesimen.

Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik (*universal testing machine*) Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui tegangan tarik maksimum, pada masing – masing spesimen.

Pelaksanaan *postweld heat treatment* dilaksanakan secara berturut – turut untuk temperatur 550°C, 600°C dan 650°C, Siklus perlakuan panas PWHT pada pengelasan *tungsten inert gas* yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa proses pengelasan ditunjukkan oleh **Gambar 8**.



Gambar 8. Siklus termal PWHT

Pengkodean Spesimen penelitian penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan *tungsten inert gas* ditunjukkan **Tabel 4**.

Tabel 4. Pengkodean spesimen

No	Kode	Keterangan
1	A	Las Non PWHT
2	B	Las PWHT 550°C
3	C	Las PWHT 600°C
4	D	Las PWHT 650°C

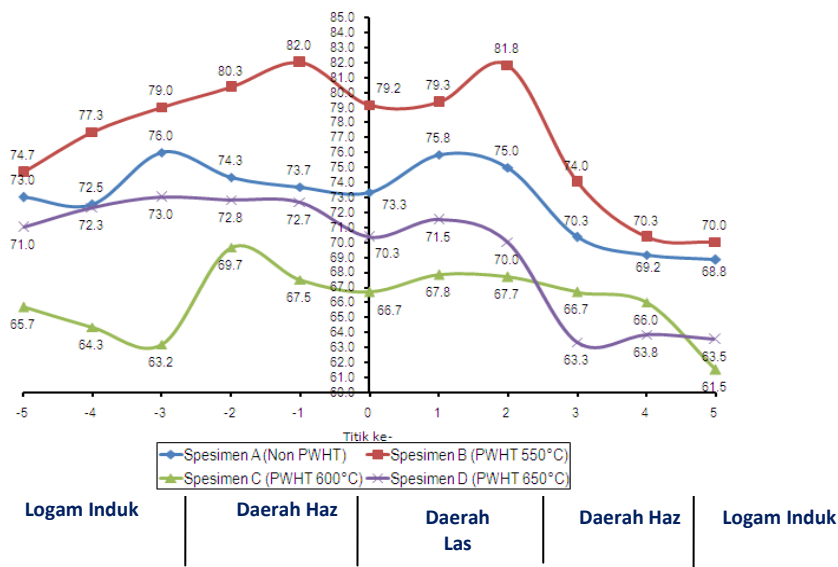
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekerasan untuk mengetahui pengaruh pengelasan terhadap harga kekerasan pada daerah pengelasan, terdiri dari : Logam las, HAZ, logam induk, Data hasil pengujian kekerasan rata-rata di tunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. data hasil pengujian kekerasan (HRC)

Daerah Las	Titik	A	B	C	D
		(Non PWHT)	(PWHT 550°C)	(PWHT 600°C)	(PWHT 650°C)
Harga Kekerasan rockwell skala C (HRC)					
Logam Induk	5	68,8	70,0	61,5	63,5
	4	69,2	70,3	66,0	63,8
	3	70,3	74,0	66,7	63,3
HAZ	2	75,0	81,8	67,7	70,0
	1	75,8	79,3	67,8	71,5
Logam Las	0	73,3	79,2	66,7	70,3
	HAZ	-1	73,7	82,0	67,5
-2		74,3	80,3	69,7	72,8
-3		76,0	79,0	63,2	73,0
Logam Induk	-4	72,5	77,3	64,3	72,3
	-5	73,0	74,7	65,7	71,0

Selanjutnya data hasil pengujian kekerasan dimasukkan kedalam sebuah grafik agar dapat diketahui perbandingan harga kekerasan antara pengelasan yang mengalami PWHT 550°C (spesimen B), PWHT 600°C (spesimen C), PWHT 650°C (spesimen D), Non PWHT (spesimen A), grafik hasil pengujian kekerasan ditunjukkan oleh **Gambar 9**.



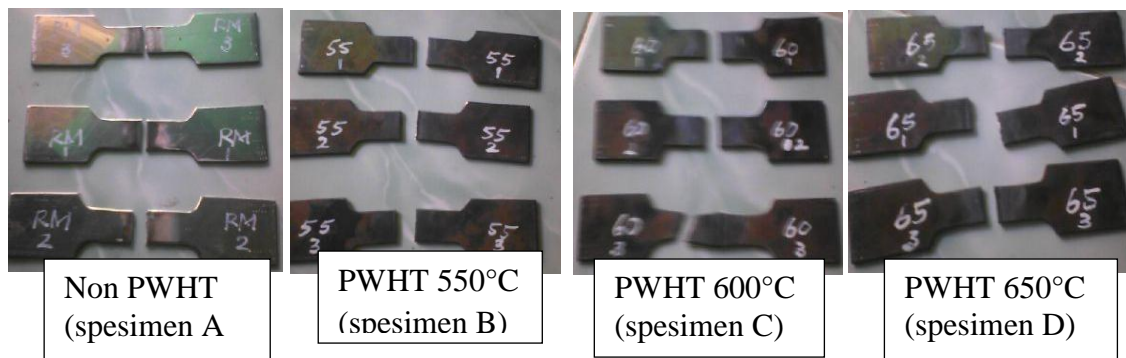
Gambar 9. Grafik harga kekerasan pada masing-masing spesimen

Pada grafik yang ditunjukkan oleh **Gambar 9**, secara umum menunjukkan penurunan harga kekerasan pada daerah las, pada spesimen dengan pengelasan Non PWHT (spesimen A) menunjukkan harga kekerasan didaerah las sebesar 73,3 HRC, pada spesimen dengan PWHT 550°C (spesimen B) harga kekerasan daerah las sebesar 79,2 HRC, spesimen dengan PWHT 600°C (spesimen C) menunjukkan harga kekerasan sebesar 66,7 HRC, dan spesimen dengan PWHT 650°C (spesimen D) menunjukkan harga kekerasan sebesar 70,3 HRC. Pola penurunan harga kekerasan pada sambungan las disebabkan oleh naiknya masukan panas, pola penurunan nilai kekerasan ini disebabkan oleh semakin lambatnya laju pendinginan yang terjadi, dengan semakin

cepatnya pendinginan akan mendorong butir ferrit untuk terbentuk lebih banyak, kemudian dengan waktu sisa yang ada barulah muncul fasa austenit (Sunandar, 2012:44).

Harga kekerasan pada daerah HAZ menunjukkan pola yang sama dengan pola kebalikan dengan daerah las yaitu menunjukkan kekerasan yang meningkat dibandingkan daerah las pada setiap temperatur PWHT yang digunakan, pada spesimen dengan pengelasan Non PWHT (spesimen A) menunjukkan harga kekerasan didaerah HAZ berkisar antara 73,7-75,8 HRC, pada spesimen dengan PWHT 550°C (spesimen B) menunjukkan harga kekerasan didaerah HAZ berkisar antara 79,3-82 HRC, spesimen dengan PWHT 600°C (spesimen C) menunjukkan harga kekerasan didaerah HAZ berkisar antara 67,5-69,7 HRC, dan spesimen dengan PWHT 650°C (spesimen D) menunjukkan harga kekerasan didaerah HAZ berkisar antara 71,5-72,8 HRC. Tingginya nilai kekerasan di HAZ bila dibandingkan dengan *weld metal* dan *base metal* karena di HAZ terdapat matriks Fe-Cr yang lebih banyak. Semakin tinggi temperatur yang digunakan, maka matriks Fe-Cr semakin banyak dan ini berpengaruh terhadap nilai kekerasan tersebut.

Pengujian Tarik, dilakukan terhadap spesimen hasil las pada baja tahan karat yang digunakan pada penelitian, penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan *tungsten inert gas* ditunjukkan oleh **Gambar 10**.



Gambar 10. Spesimen setelah proses uji tarik

Adapun hasil pengujian tarik untuk masing – masing spesimen pada spesimen A, B, C dan D adalah sebagai berikut :

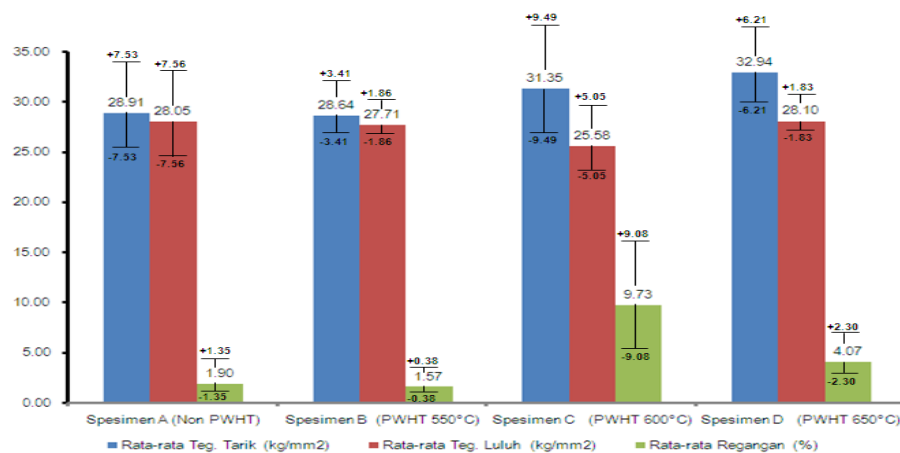
Spesimen		Tegangan Tarik (σ_u)		Tegangan Luluh (σ_y)		Regangan (ϵ)
		MPa	(kg/mm ²)	MPa	(kg/mm ²)	(%)
A (Non PWHT)	1	289,00	29,49	289,00	29,49	0,80
	2	397,07	40,52	371,86	37,94	3,40
	3	163,84	16,72	163,84	16,72	1,50
B (PWHT 550°C)	1	268,36	27,38	268,36	27,38	1,30
	2	318,52	32,50	291,22	29,72	2,00
	3	255,20	26,04	255,20	26,04	1,40
C (PWHT 600°C)	1	228,82	23,35	228,82	23,35	0,90
	2	215,91	22,03	215,91	22,03	0,40
	3	476,91	48,66	307,27	31,35	27,90
D (PWHT 650°C)	1	335,03	34,19	276,63	28,23	3,50
	2	256,81	26,21	256,81	26,21	2,10
	3	376,64	38,43	292,60	29,86	6,60

Data hasil pengujian tarik untuk spesimen B, C, dan D dengan menggunakan perhitungan seperti spesimen A ditunjukkan oleh **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil pengujian tarik untuk spesimen A, B, C, dan D

Spesimen	Standar Deviasi			Rata-rata			Tegangan Tarik (σ_u)	Tegangan Luluh (σ_y)	Regangan (ϵ)
	Teg. Tarik	Teg. Luluh	Regangan	Teg. Tarik	Teg. Luluh	Regangan	(kg/mm ²)	(kg/mm ²)	(%)
A (Non PWHT)	7.53	7.56	1.35	28.91	28.05	1.90	28,91±7.53	28.05±7.56	1.90 ±1.35
B (PWHT 550°C)	3.41	1.86	0.38	28.64	27.71	1.57	28.64±3.41	27.71±1.86	1.57±0.38
C (PWHT 600°C)	9.49	5.05	9.08	31.35	25.58	9.73	31.35±9.49	25.58±5.05	9.73± 9.08
D (PWHT 650°C)	6.21	1.83	2.30	32.94	28.10	4.07	32.94±6.21	28.10±1.83	4.07±2.30

Selanjutnya data – data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan **Gambar 11.**



Gambar 11. Grafik hasil uji tarik spesimen A, B, C dan D

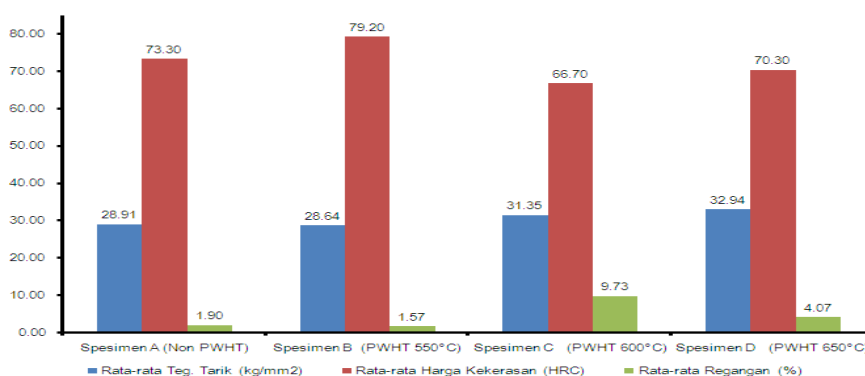
Seperti ditunjukkan oleh grafik pada **Gambar 11.** yang menunjukkan prosentase regangan pada temperatur PWHT 600°C (spesimen C) prosentase regangan adalah 9,73%. Prosentase regangan meningkat yang berarti semakin tinggi keuletannya. Membandingkan harga kekerasan pada daerah las dengan harga kekuatan tarik rata-rata, dan regangan, seperti ditunjukkan oleh **Tabel 7.** Selanjutnya **Tabel 7.** digunakan untuk membuat grafik harga kekerasan daerah las dan harga kekuatan tarik maksimum rata-rata dan prosentase regangan pada sambungna las ditunjukkan **Gambar 12.**

Kekerasan merupakan ukuran yang cocok mengenai kekuatan baja yang mengalami proses perlakuan panas, keabsahan prosedur tersebut berdasarkan hubungan yang erat antara kekuatan tarik dengan kekerasan untuk baja yang diperlakukan panas, seperti dikeraskan, di *annealing*, dan di normalkan. Pada penelitian penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan *tungsten inert gas* menunjukkan hubungan antara harga kekerasan dan prosentase regangan, Pada spesimen Non PWHT (spesimen A) harga kekerasan 73,30 HRC dengan regangan

1,90 %. Pada spesimen PWHT 550°C (spesimen B) harga kekerasan 79,20 HRC dengan regangan 1,57 %. Pada spesimen PWHT 600°C (spesimen C) harga kekerasan 66,70 HRC dengan regangan 9,73%. Pada spesimen PWHT 650°C (spesimen D) harga kekerasan 70,30 HRC dengan regangan 4,07 %.

Tabel 7. Hasil Uji kekerasan dan kekuatan tarik

No.	Spesimen	Harga Kekerasan Rata-rata Daerah Las (HRC)	Rata-rata Tegangan Tarik (kg/mm ²)	Regangan (%)
1	A (Non PWHT)	73,30 ± 2,89	28,91 ± 7.53	1,90 ± 1.35
2	B (PWHT 550°C)	79,20 ± 1,89	28,64 ± 3.41	1,57 ± 0.38
3	C (PWHT 600°C)	66,70 ± 8,08	31,35 ± 9.49	9,73 ± 9.08
4	D (PWHT 650°C)	70,30 ± 2,89	32,94 ± 6.21	4,07 ± 2.30



Gambar 12. Grafik Harga kekerasan, kekuatan tarik, regangan Pada masing-masing spesimen

4. KESIMPULAN

Pada penelitian penerapan *postweld heat treatment* untuk baja tahan karat pada pengelasan tungsten inert gas memperoleh hasil sebagai berikut :

1. Berdasarkan data hasil uji komposisi bahan baja tahan karat yang digunakan dalam penelitian merupakan baja tahan karat *austenitik* karena memiliki kandungan Cr 15,1%, Ni 0,836% dan C 0,0602%.
2. Harga kekerasan pada daerah HAZ menunjukkan kekerasan yang meningkat dibandingkan daerah las pada setiap temperatur PWHT yang digunakan, harga kekerasan daerah HAZ menunjukkan penurunan dengan meningkatnya temperatur PWHT.
3. Rata-rata kekuatan tarik dan rata-rata kekuatan luluh meningkat dengan meningkatnya temperatur PWHT

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim-a, 2004, Mengelas Dengan Proses Las Gas Tungsten, Dirjen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional
- Anonim-b, 2012, “Application Of The Chaeffler Diagram ”, termuat di: www.dacapo.com/filer/schaeffler_diagram.pdf, diakses 15 Maret 2014.
- George E. Dieter, Alih Bahasa Sriati Dj., 1987, *Metalurgi mekanik*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Harsono, W. & Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-7, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- JIS HANDBOOK Z2201, 1980, *Method Of Testing Materials Standar JIS*
- Surdia. T & Saito, 1995, Pengetahuan Bahan Teknik, Pradya Paramitha, Jakarta
- Van Vlack, L.H., Alih Bahasa Sriati Dj, 1983, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta.