

Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (Pwht) dengan Pemanas Induksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las *Shield Metal Arc Welding* (Smaw) pada Pipa API 5I X52

*Gunawan Dwi Haryadi^a, Rifky Ismail^a, Mahmuda Haira^b

^aDosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^bMahasiswa Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*Email:gunawan_dh@ft.undip.ac.id

Abstrak

Saluran perpipaan telah digunakan sebagai salah satu metode yang paling praktis dan berharga murah untuk transportasi minyak dan gas. Penyambungan pipa sendiri dilakukan dengan proses pengelasan. Pada pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa, perubahan struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan yang berbeda-beda pada tiap-tiap daerah konstruksi. Salah satu cara untuk memperbaiki hal tersebut yaitu dengan cara melakukan *post weld heat treatment* (PWHT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh PWHT terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW). PWHT dilakukan dengan menggunakan alat pemanas induksi pada temperatur 400°C, 500 °C 600 °C, 700 °C dan 800 °C dengan *holding time* selama 15 detik dan didinginkan di udara terbuka. Selanjutnya dilakukan pengujian impak, kekerasan dan struktur mikro untuk mengetahui pengaruh PWHT yang dilakukan. Dari hasil pengujian impak dan kekerasan diketahui bahwa semakin tinggi temperature PWHT maka semakin tinggi juga nilai ketangguhan dan semakin menurun nilai kekerasannya. Dan dari pengamatan struktur mikro daerah *weld metal* PWHT mengakibatkan terjadinya peningkatan jumlah struktur *acicular ferrite* dan penurunan jumlah struktur *widmanstatten ferrite*.

Kata kunci: Kekerasan, ketangguhan, pemanas induksi, PWHT, struktur mikro

1. Pendahuluan

Saluran perpipaan adalah salah satu metode yang paling praktis dan terjangkau yang sudah diterapkan pada pada sistem transportasi minyak dan gas sejak 1950. Pipa telah digunakan sebagai salah satu metode yang paling praktis dan berharga murah untuk transportasi minyak dan gas. Instalasi pipa untuk minyak dan transmisi gas yang meningkat drastis dalam tiga dekade terakhir [1]. Salah satu yang harus diperhatikan pada proses pembuatan saluran pipa adalah proses penyambungan pipa tersebut. Penyambungan pipa sendiri dilakukan dengan proses pengelasan. Salah satu metode pengelasan yang sering digunakan pada penyambungan pipa adalah pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang tinggi pada daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) [2]. Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari kedua cara ini yang paling banyak dilaksanakan adalah cara termal dengan proses *post weld heat treatment* (PWHT). Pada proses PWHT, waktu penahanan (*holding time*), suhu pemanasan, dan laju pendinginan merupakan faktor yang sangat penting [3]. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui temperatur optimum untuk melakukan PWHT pada sambungan pipa API 5L X52 yang dilas menggunakan metode SMAW.

2. Material dan metode penelitian

2.1. Material

Spesimen Uji yang digunakan merupakan sambungan pipa API 5L X52. Pengelasan dilakukan secara manual dengan menggunakan metode *shield metal arc welding* (SMAW) dengan parameter pengelasan terdapat pada Tabel 1. Spesimen yang digunakan pada pengujian ini seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Parameter pengelasan SMAW [4]

No.	Parameter	Keterangan
1	Jenis filler	E 6010 dan E 7010
2	Diameter filler	3,2 mm

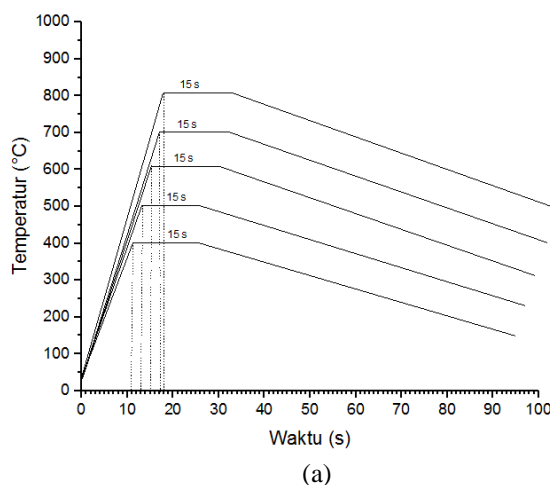
3	Jenis arus	DC
4	Kuat arus	95-135 Ampere
5	Tegangan	21-23 Volt
6	Kecepatan las	150-200 mm/min
7	Heat input	650-1000 J/mm
8	Layer pengelasan	7 layer



Gambar 1. Spesimen pengujian

2.2. *Post Weld Heat Treatment*

Post weld heat treatment yang dilakukan dalam pengujian ini menggunakan mesin induksi. Masing-masing spesimen dipanaskan hingga mencapai suhu 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C, dilakukan penahanan selama 15 detik dan kemudian didinginkan di udara terbuka.. Alat induksi yang dipakai memiliki daya sebesar 15.000 kW dan sumber listriknya merupakan 3 fasa. Grafik *heat treatment* dan mesin pemanas induksi untuk pengujian kali ini ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. (a) Grafik proses *heat treatment*. (b) Mesin pemanas induksi

2.3. Pengujian Struktur Mikro

Sebelum dilakukan pengujian foto mikro, material terlebih dahulu dipotong dengan menggunakan gergaji untuk dibuat spesimen-spesimen kecil dengan ukuran 5 cm x 1 cm. Selanjutnya spesimen tersebut dihaluskan dengan ampelas grade 180, 240, 400, 600, 800, 1000 1200, 1500 dan 2000. Setelah spesimen dihaluskan sampai grade 2000 langkah selanjutnya adalah menghaluskan spesimen dengan menggunakan wool sehingga pada permukaan material sudah tidak tampak goresan.

Pengujian struktur mikro mengacu pada standar pengujian ASTM International dan dilakukan setelah spesimen uji mengalami proses *polishing* dan *etching*, hingga spesimen uji tampak mengkilap serta tidak ada goresan pada permukaan spesimen uji. Pengujian struktur mikro spesimen uji dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Diponegoro Semarang dengan menggunakan alat Mikroskop OLYMPUS BX41M. Foto spesimen pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen pengujian struktur mikro

2.4. Pengujian Kekerasan

Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode mikro *Vickers*. Pada uji vickers gaya diberikan dengan perlahan tanpa tubrukan, dan ditahan selama lima sampai lima belas detik, pada penelitian ini saya menggunakan penekanan selama 12 detik. Sesuai dengan ASTM E384, gaya yang diberikan berkisar 1-1000 gf, untuk penelitian ini saya menggunakan 0,3 Kgf. Setelah gaya dilepas, kedua diagonal diukur dan rata-ratanya digunakan untuk menghitung HV sesuai dengan rumus :

$$HV = \frac{2000P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1854,4P}{d^2} \quad (1)$$

dimana d adalah rata-rata diagonal dalam satuan μm , P adalah beban yang diberikan dengan satuan gf, dan α adalah satuan sudut permukaan (136°). Kekerasan dapat dihitung dengan rumus di atas atau dengan mengkonversikan diagonal rata-ratanya pada buku tabel konversi HV [5].

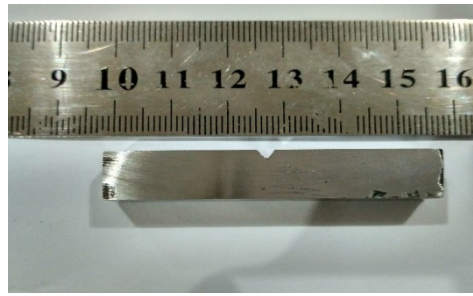
Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, material terlebih dahulu dipotong dan di *mounting*. Selanjutnya spesimen tersebut dihaluskan dengan ampelas *grade* 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, dan 1500. Setelah permukaan benda uji rata pada, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan alat *Vickers hardness tester*. Foto spesimen pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen pengujian kekerasan

2.5. Pengujian Impact

Ketangguhan adalah ketahanan suatu material terhadap beban kejut. Pengujian untuk mengetahui ketangguhan suatu material yang biasa digunakan yaitu uji *impact*. Dasar pengujian *impact* ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Sebelum diuji, pada masing-masing specimen diberi takikan terlebih dahulu dibagian tengahnya. Fungsi takikan pada uji *impact* adalah untuk melokalisir perpatahan, sehingga perpatahan terjadi pada daerah tersebut. Takikan tersebut berbentuk V dengan sudut kemiringan dan kedalaman takikan telah ditentukan sesuai standarisasi ASTM E23 mulai dari dimensi maksimum sampai minimum. Spesimen uji *impact* dapat dilihat pada Gambar 5. Pengujian *impact* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *charpy*. Metode *Charpy* itu sendiri adalah pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal atau mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.



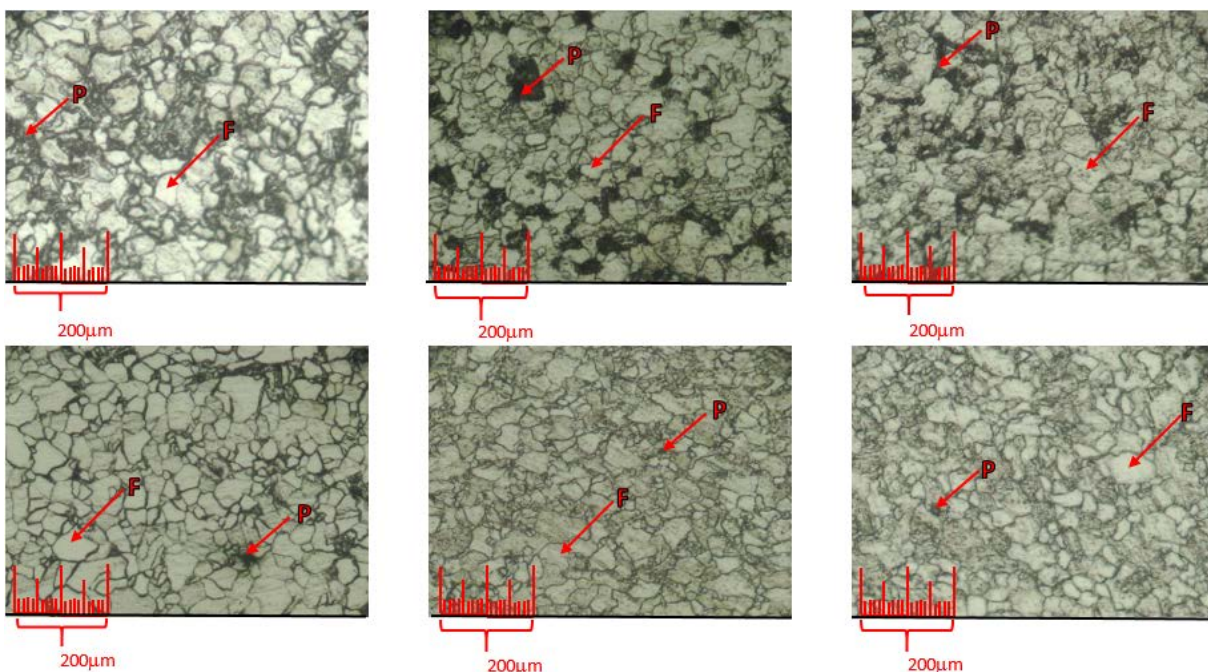
Gambar 5. Spesimen pengujian impact

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro ditampilkan pada Gambar 6 sampai Gambar 8 dengan menggunakan perbesaran 200X. Pengambilan gambar pada pengujian struktur mikro di ambil pada daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal*.

3.1.1. Pengamatan struktur mikro *base metal*

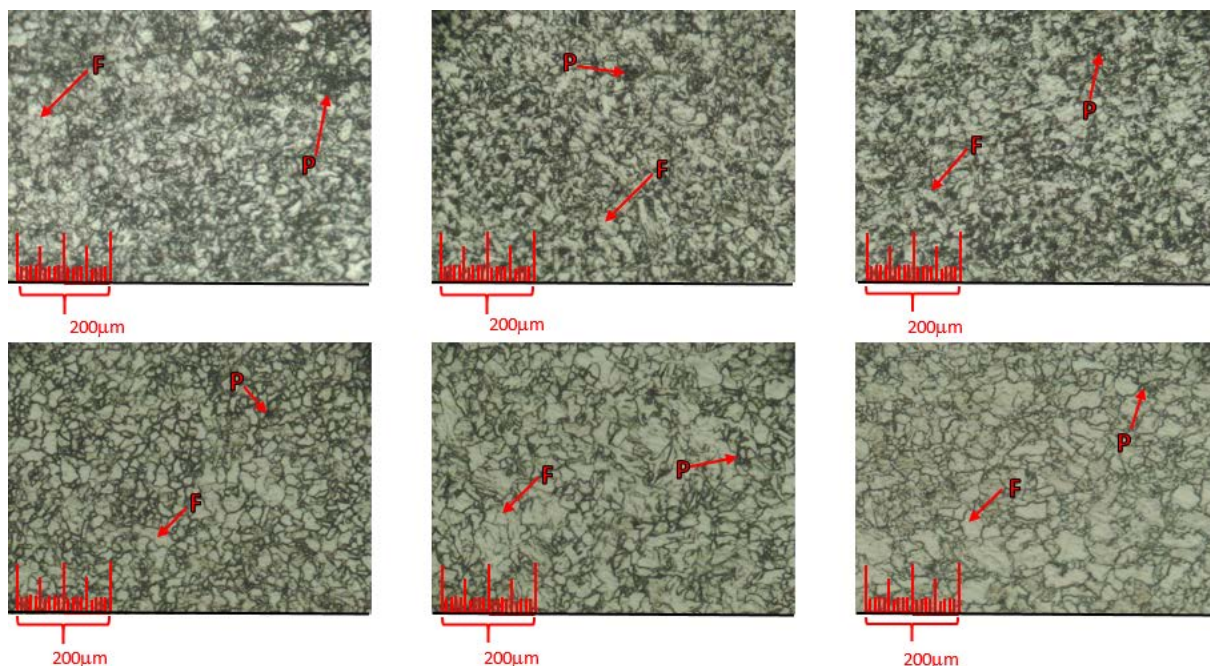


Gambar 6. Hasil pengamatan struktur mikro *base metal*.

Pada daerah *base metal* dapat dilihat butir-butir ferrite (berwarna terang), dan fase pearlite (berwarna gelap). Butir ferrite cenderung lebih halus dan lunak sedangkan butir pearlite lebih kasar dan keras karena mengandung karbon. Pada daerah ini logam masih memiliki sifat bawaan benda uji. Struktur mikro *base metal* spesimen yang mengalami perlakuan PWHT dan tanpa PWHT hasilnya hampir sama. Namun pada spesimen yang mengalami PHWT dapat dilihat terjadi perubahan yaitu penurunan jumlah pearlite, pertumbuhan ferrite yang membesar. Semakin besar temperatur PWHT maka fasa pearlite makin berkurang. Hal tersebut berhubungan dengan nilai kekerasan yang didapat pada daerah *base metal*. Semakin tinggi temperatur PWHT maka nilai kekerasan akan semakin rendah [6].

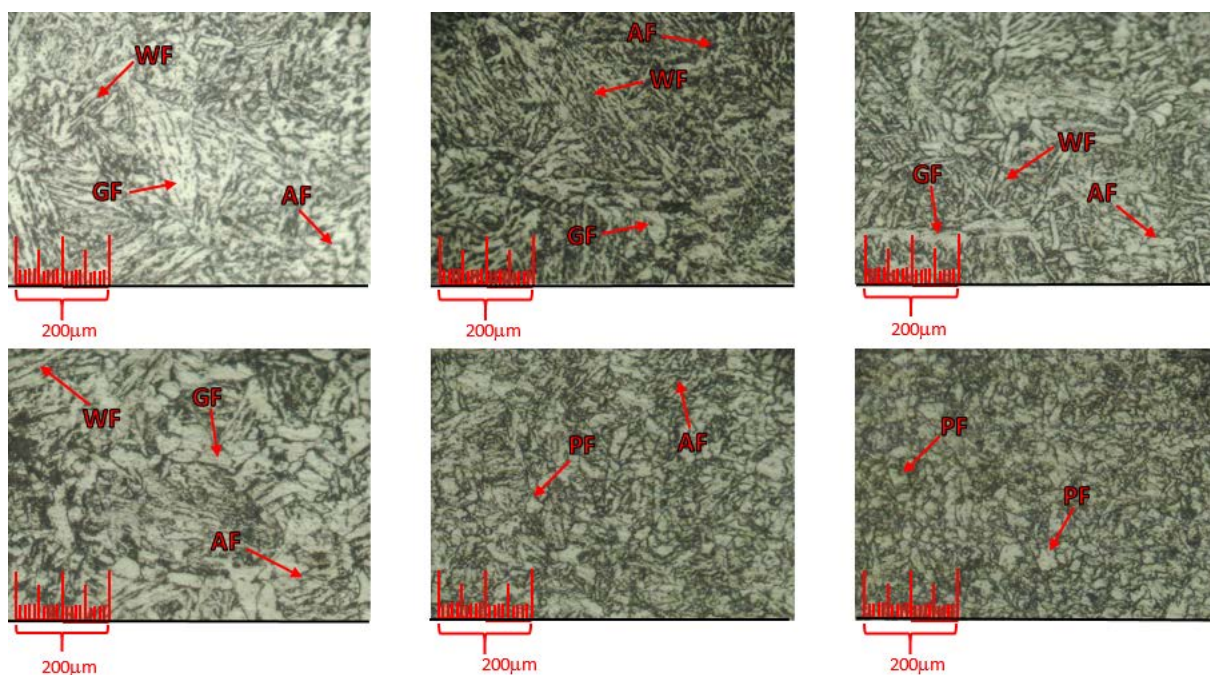
3.1.2. Pengamatan struktur mikro HAZ

Pada daerah HAZ spesimen tanpa PWHT bentuk struktur mikro cenderung terdapat butiran yang lebih kecil daripada daerah logam induk dan cenderung tidak teratur bentuknya. Sedangkan pada spesimen dengan perlakuan PWHT bentuk strukturnya didominasi oleh ferrite yang lebih banyak dan butiran yang semakin membesar sedangkan pearlite semakin sedikit dan mengecil. Jika temperatur PWHT semakin tinggi, maka jumlah ferrite semakin banyak. Hal ini yang mengakibatkan kekerasan pada daerah HAZ semakin menurun beriringan dengan kenaikan temperatur PWHT [6].



Gambar 7. Hasil pengamatan struktur mikro HAZ.

3.1.3. Pengamatan struktur mikro *weld metal*

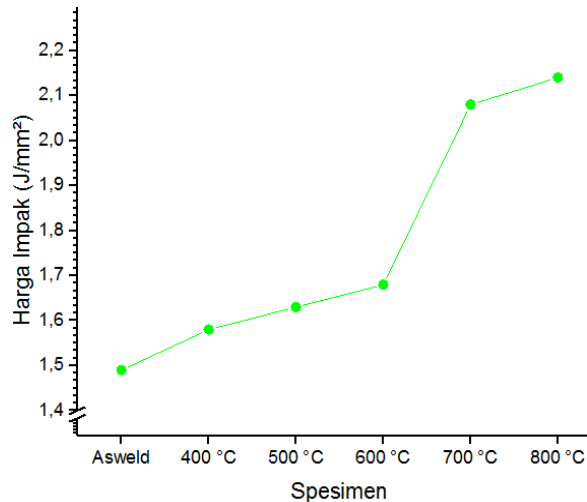


Gambar 8. Hasil pengamatan struktur mikro *weld metal*.

Pada daerah *weld metal* dapat dilihat struktur mikro spesimen *asweld* maupun spesimen yang mengalami PWHT memiliki struktur mikro yang terdiri dari *widmanstatten ferrite* (WF), *acicular ferrite* (AF), dan *grain boundary ferrite* (GF). Struktur AF tampak saling berkaitan membentuk *interlocking structure*. Struktur GF memiliki struktur berbutir bulat, sedangkan struktur WF memiliki struktur berbutir panjang (*columnar grains*) dan mempunyai sifat yang getas. Pertumbuhan struktur WF ini berawal dari logam induk yang tumbuh ke arah tengah daerah logam las. Seiring peningkatan temperatur PWHT terjadi peningkatan struktur AF dan penurunan jumlah struktur WF dan GF. Pada PWHT 800 °C terlihat *poligonal ferrite* (PF) yang bersifat ulet dan lunak. Hal ini lah yang menyebabkan peningkatan nilai ketangguhan dan penurunan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* yang mendapat perlakuan PWHT [6].

3.2. Pengujian *Impact*

Hasil pengujian *impact* pada spesimen pipa API 5L X52 *asweld* dan yang sudah mengalami PWHT 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai ketangguhan/harga *impact* didapat dari nilai energi terserap dibagi dengan luas penampang patah. Energi terserap adalah energi yang digunakan untuk mematahkan benda kerja dengan cara mengalikan gaya dan jarak. Penampang patah didapat dari daerah terjadi perpatahan, pada pengujian ini perpatahan terjadi pada daerah yang diberi takikan.

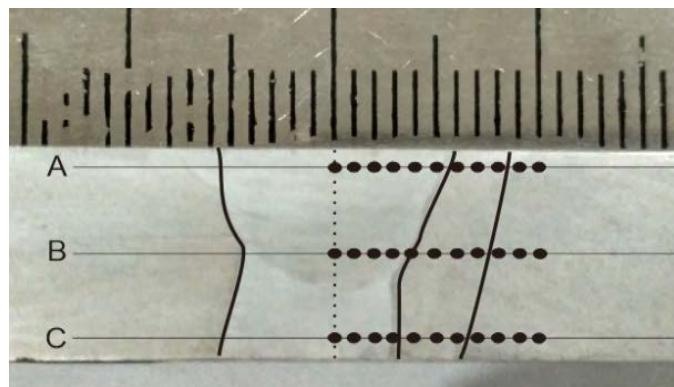


Gambar 9. Grafik hasil pengujian *impact*

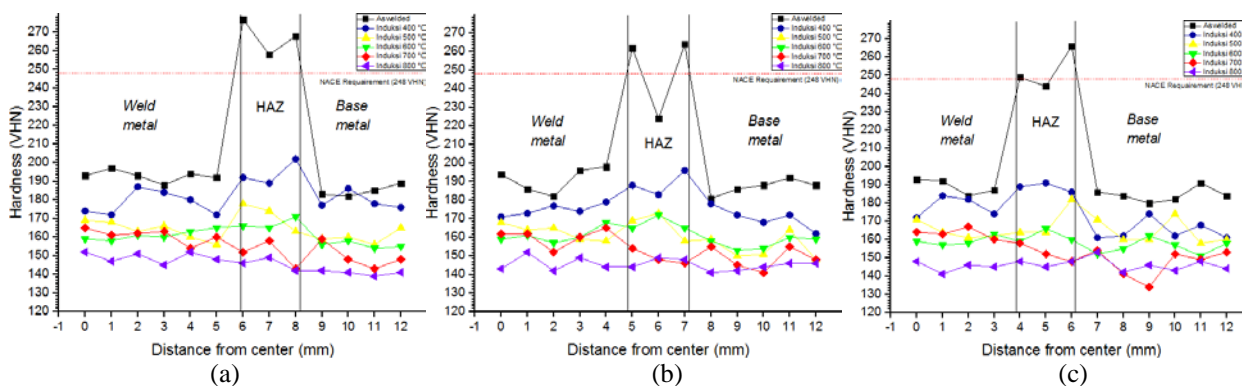
Pada Gambar 9 dapat dilihat benda uji yang tidak dilakukan PWHT (*asweld*) mempunyai nilai ketangguhan 1,49 Joule/mm². Dan pada spesimen yang mengalami PWHT mempunyai nilai ketangguhan yang terus meningkat seiring dengan peningkatan temperatur PWHT dengan perincian yaitu PWHT 400 °C dengan nilai ketangguhan 1,58 Joule/mm², PWHT 500 °C mempunyai nilai ketangguhan 1,63 Joule/mm², PWHT 600 °C mempunyai nilai ketangguhan 1,68 Joule/mm², PWHT 700 °C mempunyai nilai ketangguhan 2,08 Joule/mm², dan PWHT 800 °C mempunyai nilai ketangguhan 2,14 Joule/mm². Dapat disimpulkan bahwa PWHT dapat merubah besarnya nilai ketangguhan seiring dengan peningkatan temperatur PWHT. Dari grafik spesimen yang mempunyai nilai ketangguhan terbesar adalah spesimen PWHT 800 °C dengan nilai ketangguhan sebesar 2,14 Joule/mm². Hasil pengujian *impact* ini berhubungan dengan hasil pengamatan struktur mikro yang sudah dilakukan. Dimana pada daerah *weld metal* seiring dengan kenaikan temperatur PWHT struktur mikro *widmanstatten ferrite* yang bersifat getas mulai bertransformasi menjadi *acicular ferrite* yang bersifat lebih ulet [6].

3.3. Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan bertujuan untuk mengetahui kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indensitas, tahan terhadap penggeseran, tahan terhadap aus dan tahan terhadap pengikisan (abrasi). Titik daerah pengujian kekerasan seperti terlihat pada Gambar 10. Hasil dari pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 11.

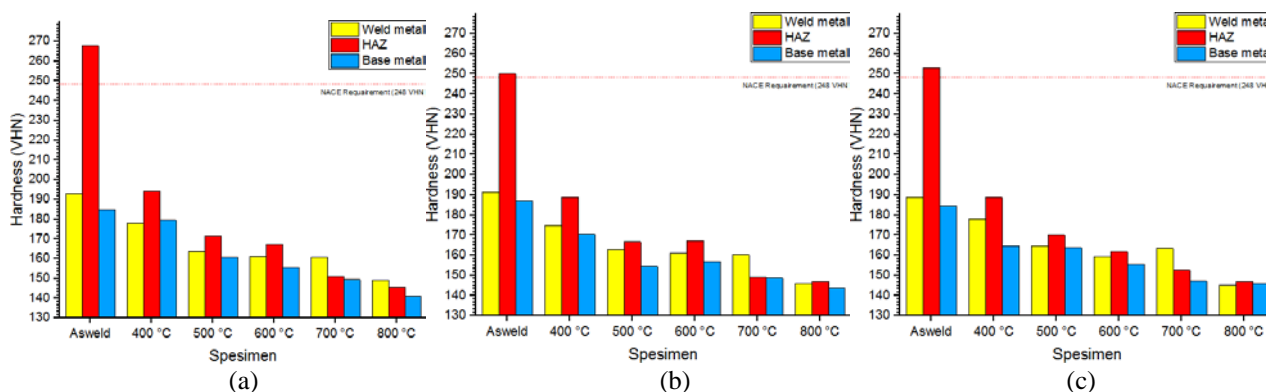


Gambar 10. Titik pengujian kekerasan.



Gambar 11. Grafik pengujian kekerasan (a) titik A, (b) titik B, (c) titik C

Dari nilai kekerasan di atas kita ambil rata-rata dari setiap daerah dari tiap titik pengujian kekerasan, sehingga didapat nilai kekerasan seperti ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 12. Grafik rata-rata kekerasan (a) titik A, (b) titik B, (c) titik C

Dari grafik Gambar 11 dan Gambar 12 kita dapat melihat bahwa nilai kekerasan dari material sebelum PWHT memiliki nilai kekerasan tertinggi, baik di daerah las, HAZ maupun *base metal*. Untuk spesimen yang telah mengalami PWHT mengalami penurunan nilai kekerasan yang cukup besar, khususnya dibagian HAZ. Dapat dilihat juga nilai kekerasan material yang telah di PWHT mempunyai nilai kekerasan yang hampir seragam. Pada spesimen PWHT 800 °C memiliki nilai kekerasan terkecil. Sedangkan spesimen PWHT 400°C memiliki nilai kekerasan yang tertinggi baik di *weld metal*, HAZ, maupun *base metal*.

Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa PWHT sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan material. Nilai kekerasan dari spesimen PWHT 800°C adalah yang terkecil dibanding PWHT 400°C, 500°C, 600°C dan 700°C. Hal ini terjadi karena spesimen PWHT 800°C telah mendapat perlakuan panas yang telah melewati temperatur austenisasi yang mengakibatkan perubahan struktur mikro dari material. Sedangkan nilai kekerasan yang paling seragam untuk tiap daerah baik *weld metal*, HAZ, maupun *base metal* adalah spesimen PWHT 800°C ini dapat dibuktikan dengan kecilnya nilai standar deviasi pada spesimen PWHT 800°C seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan standar deviasi nilai kekerasan

Titik	Deviasi					
	Asweld	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
A	45,72	7,50	5,97	5,80	6,14	4,22
B	35,22	9,72	6,27	5,30	6,44	1,64
C	38,32	12,02	3,38	2,93	8,31	1,00

Adanya penurunan kekerasan setelah PWHT disebabkan logam yang mengalami *work hardening*, bila dipanaskan pada suhu diatas 0,4 Tsolidus, mengalami pengurangan energi regangan dan menyebabkan butir-butir baru yang bebas regangan, yang disebut rekristalisasi. Proses ini menyebabkan perubahan pada sifat mekanisnya, yaitu kekuatan dan kekerasan akan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan naik [7]. Dan dengan turunnya kekerasan sambungan las pipa baja API 5L X52 karena pengaruh PWHT dibawah 248 VHN, maka aman dari *sulfide stress cracking* (SSC) [8].

4. Kesimpulan

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa PWHT sangat berpengaruh terhadap struktur mikro material khususnya di daerah HAZ dan *weld metal*. Pada daerah HAZ spesimen dengan perlakuan PWHT bentuk strukturnya didominasi oleh ferrite yang lebih banyak dan butiran yang semakin membesar sedangkan pearlite semakin sedikit dan mengecil. Jika temperatur PWHT semakin tinggi, maka jumlah ferrite semakin banyak. Sedangkan pada daerah *weld metal* PWHT mengakibatkan terjadinya peningkatan struktur *ferrite acicular* dan penurunan jumlah struktur *ferrite widmanstatten*. Hal ini lah yang menyebabkan peningkatan nilai ketangguhan dan penurunan kekerasan pada spesimen yang mendapat perlakuan PWHT. Dari hasil pengujian *impact*, nilai ketangguhan/harga *impact* material *asweld* adalah 1,49 Joule/mm². Kemudian nilai ketangguhan mengalami kenaikan setelah dilakukan PWHT, yaitu PWHT 400 °C sebesar 1,58 Joule/mm², PWHT 500 °C sebesar 1,63 Joule/mm², PWHT 600 °C sebesar 1,68 Joule/mm², PWHT 700 °C sebesar 2,08 Joule/mm², dan nilai ketangguhan tertinggi terjadi pada temperature 800 °C yaitu sebesar 2,14 Joule/mm². Dari hasil pengujian kekerasan, diketahui bahwa PWHT sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai kekerasan dari material, baik pada daerah *weld metal*, HAZ, maupun *base metal*. Material yang di perlakukan PWHT 800 °C merupakan material yang mengalami penurunan kekerasan terbesar dan mempunyai nilai kekerasan yang paling seragam baik pada daerah *weld metal* (146,7 HVN), HAZ (146,6 HVN), maupun *base metal* (143,5 HVN).

Referensi

- [1] Pluvillage, G. and Elwany, M.H., 2007, *Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines*, Springer Science & Business Media.
- [2] Purwaningrum, Y., 2006, Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Sambungan Las SMAW Baja A-287 Sebelum dan Sesudah PWHT, *Jurnal TEKNOIN*, Vol.11, No.3: 233-242.
- [3] Wiryosumarto, H., & Okumura T., 2004, *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- [4] Standard, A.P.I., 2005, 1104, *Welding of Pipelines and Related Facilities*.
- [5] ASTM E384-99, 2002, *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*, ASTM International.
- [6] Sisi, A.K. & Mirsalehi, S.E., 2015, Effect of Post Weld Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of X52 Line Pipe HFIW Joint, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24(4), pp.1626-1633.
- [7] Tristijanto. H., 2012, Meningkatkan Ketahanan Korosi pada Sambungan Longitudinal Las Resistensi Listrik Pipa Baja API 5L X – 46 dengan Perlakuan Panas Paska Pengelasan, *Jurnal Foundry*, Vol. 2 No. 2 Oktober 2012 ISSN : 2087-2259.
- [8] Ramirez, J., E., 2008, Characterization of High-Strength Steel Weld Metals : Chemical Composition, Microstructure and Nonmetallic Inclusions, *Welding Journals vol. 87*.