

PENGARUH PROSES *IN-SERVICE WELDING* PADA NILAI KEKERASAN SAMBUNGAN

E.Martides^{1,*} dan G.Gumilar²

¹Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, LIPI
Kampus LIPI Gedung 20, Jl. Cisit No.21/154^D Bandung,

²Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian
Jl. Sangkuriang No. 12 Bandung
E-mail : *erie.martides@lipi.go.id

Masuk tanggal : 20-01-2015, revisi tanggal : 16-03-2015, diterima untuk diterbitkan tanggal : 19-03-2015

Intisari

PENGARUH PROSES *IN-SERVICE WELDING* PADA NILAI KEKERASAN SAMBUNGAN. Pengelasan merupakan metode penyambungan dua buah material atau lebih yang handal yang sering digunakan untuk proses instalasi, perawatan dan perbaikan. *In-service welding* yaitu penyambungan material pipa dalam kondisi operasi berjalan yang dialiri fluida. Penyambungan dilakukan antara 2 buah pipa API 5L X60, dengan jenis sambungan *fillet*, proses SMAW dan posisi 5F. Hasil sambungan dilakukan pengujian dan pemeriksaan secara merusak di laboratorium, yang meliputi pengujian bengkok, kekerasan dan pemeriksaan struktur makro. Peranan pemanasan awal sangat penting untuk menghindari perbedaan signifikan antara temperatur di logam dasar, logam cair dan fluida kerja serta untuk menghindari retakan. Terjadi fenomena pendinginan cepat pada *in-service welding* yaitu pada daerah pengelasan yang mendekati pipa berfluida, sehingga menghasilkan nilai kekerasan pada daerah terpengaruh panas (HAZ) lebih tinggi dari logam dasar maupun logam cair.

Kata kunci: In-service welding, API 5L X60, Kekerasan, Daerah terpengaruh panas (HAZ)

Abstract

INFLUENCE OF IN-SERVICE WELDING PROCESS ON JOINING METAL HARDNESS VALUE. Welding is a reliable method to joints two material or more, and its use in instalation process, maintenance and repairing process. *In-services welding* is joining the pipe material, where the pipe in working condition which still flowed by fluids. Joining process conduct between 2 API 5L X60 pipes using fillet joints type, SMAW process and 5F position. Specimen of welded materials tested and inspected in laboratory, the tests encompass bending, hardness, and macro structure. The roles of preheating is very important to avoid significant differentiation between temperature at the base metal, weld metal, and working fluids, also its to avoid craks. Rapid cooling phenomena occurs in *in-services welding* at welded area which near to the fluided pipe, as a result the area of heat affected zone (HAZ) has a higher hardness value than the base metal and weld metal.

Keywords : In-service welding, API 5L X60, Hardness, Heat affected zone (HAZ)

PENDAHULUAN

Di industri minyak dan gas, sistem pemipaan biasa digunakan untuk salah satu alternatif cara memindahkan hasil penambangan minyak bumi dengan kapasitas yang tinggi tetapi dengan biaya yang lebih rendah dibanding menggunakan transportasi darat^[1]. Kondisi operasi yang kontinu mengharuskan instalasi pipa tersebut bekerja terus menerus. Termasuk dalam kondisi pemeriksaan berkala pada instalasi pipa tersebut pun, operasi produksi penambangan terus berjalan. Pemeriksaan berkala pada

sambungan pengelasan instalasi pipa dilakukan dengan uji hidrostatis bertujuan untuk mengevaluasi titik kegagalan yang terjadi pada sambungan dan memprediksi kualitas struktur pengelasan pada pipa tersebut^[2].

API (American Petroleum Institute) 5L Grade X60 merupakan jenis pipa yang seringkali digunakan pada industri minyak, gas, dan petrokimia untuk aplikasi bawah laut maupun, dimana sistem pemipaan tersebut tidak mungkin terlepas dari proses

pengelasan sebagai metode penyambungan^[3-4]. API 5L X60 termasuk baja *high strength low alloy* (HSLA) yang diproduksi dengan metode *thermomechanical controlled processing* (TMCP), dengan pengontrolan komposisi kimia dan besar butir, sehingga menghasilkan kekuatan luluh yang tinggi yaitu lebih dari 60 ksi^[6]. Baja jenis ini didesain untuk mendapatkan sifat mekanik dan juga ketahanan terhadap korosi atmosfer yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon konvensional lainnya.

Pengelasan merupakan proses yang seringkali digunakan untuk proses instalasi, perawatan maupun perbaikan. *In-service welding* adalah proses pengelasan yang dilakukan dengan kondisi operasi berjalan, dan biasanya dilakukan pada pipa-pipa yang mempunyai fluida kerja bertekanan. Proses ini sangat membutuhkan persiapan dan kontrol yang baik selama pengerjaan, karena terdapat beberapa masalah yang sering terjadi yang dapat menurunkan kualitas sambungan bahkan menyebabkan kegagalan. Resiko terhadap *burn through*, ketidakstabilan komposisi sambungan karena fluida kerja, dan juga resiko terhadap *hydrogen cracking*^[8].

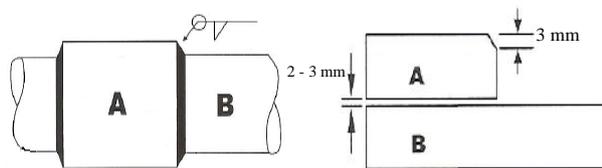
Kualitas sambungan yang baik sangat diharapkan terhadap hasil pengerjaan *in-service welding*, sama halnya dengan pengelasan biasa. Namun kondisi proses pengelasan dengan kondisi dipengaruhi beban operasi, akan mempengaruhi sifat mekanik dari daerah lasan, terutama yang berhubungan dengan kekuatan^[8].

Pada penelitian ini dilakukan proses simulasi *in-service welding* pada pipa yang di dalamnya terdapat fluida kerja berupa air. Pipa dengan material API 5L X60 hasil *rolling* berdiameter 14" dan tebal 14,28 mm disambung dengan pipa material API 5L X60 berdiameter 14" dengan tebal 6 mm. Jenis sambungan yang digunakan adalah *fillet joint* dengan proses pengelasan SMAW dan posisi 5F (*vertical up*).

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui proses *in-service welding* pengaruhnya terhadap sifat mekanik hasil lasan terutama nilai kekerasan.

PROSEDUR PERCOBAAN

Pipa berfluida air dilakukan penambahan pipa dengan cara dilakukan penyambungan salah satunya menggunakan proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).



Gambar 1. Disain sambungan 2 buah pipa API 5L X60, dengan posisi fillet

Material yang akan disambung dari jenis yang sama yaitu API 5L X60 dengan diameter yang berbeda, dan *specific Min. Yield Strength* (SMYS) ≤ 60000 Psi. *Filler* pengisi menggunakan jenis E7018G dari standar AWS A5.5/Gr.3 dengan diameter 3,2 mm. Karakteristik logam dasar yang akan disambung dan logam pengisi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik logam dasar dan logam pengisi

Unsur	A: API 5L X60 (Ø14", t 14,28 mm)	B: API 5L X60 (Ø14", t 6 mm)	OK 48.08 Ø3,2 mm
C	0,10	0,090	0,07
Mn	1,50	1,67	1,21
Si	0,37	0,35	0,24
S	0,013	0,013	0,005
P	0,032	0,031	0,013
Cr	0,027	0,0027	0,03
Ni	0,035	0,10	0,78
Mo	0,0036	0,046	0,01
Cu	0,014	0,016	-
Al	0,053	0,05	-
Nb	0,012	0,0065	-
V	0,065	0,075	0,02
Ys	64,509	64,678	540
HRb	182,195	172,182	

Posisi pengelasan 5F (*vertical up*) dengan teknik pengelasan secara *string* pada bagian *root* diteruskan teknik bergelombang (*weave*) pada bagian lain dengan ukuran maksimum 2 kali dari diameter elektroda. Parameter yang digunakan pada proses pengelasan ditampilkan pada Tabel 2. Setelah proses *in-service welding* dilakukan, diteruskan dengan beberapa pengujian dan pemeriksaan yang bersifat merusak (DT)

maupun tidak merusak (NDT) untuk mengetahui kualitas dari sambungan terutama kekuatannya.

Tabel 2. Parameter proses pengelasan

	Polarity	Ampere (A)	Voltage (V)	Travel speed (mm/min)	Heat Input (KJ/mm)
1 st layer	DCRP	110-115	22-25	93-109	1,33-1,85
Next pass	DCRP	116-128	23-25	80-100	1,6-2,25

Pengujian Bengkok

Hasil pengelasan dibuat sampel dengan dimensi 25,4 x 6 mm, lalu dilakukan pengujian bengkok yang mengacu pada standar API 1104 – 2007 baik untuk proses maupun untuk batas spesifikasi yang diberikan standar maupun klien. Proses pengujian dilakukan pada temperatur kamar dan pin uji bengkok yang gunakan berdiameter 3,5 inch.

Pemeriksaan Struktur Makro

Penampang hasil pengelasan dilakukan pemeriksaan struktur makro yang mengacu pada ASTM E340-00 dan standar API 1104 App.B; 2007 untuk standar batas spesifikasinya. Tujuan dari pemeriksaan makro yaitu untuk mengetahui sejauh mana logam pengisi dapat melekat sempurna pada logam dasar dan juga memeriksa kemungkinan terdapatnya cacat di dalam atau sekitar daerah pengelasan.

Pengujian Kekerasan

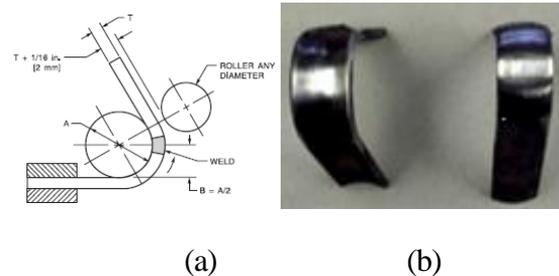
Nilai kekerasan pada daerah pengelasan akan erat kaitannya dengan kekuatan pengelasan menahan dan menyerap beban yang datang dari luar maupun dalam. Proses pengujian kekerasan mengacu pada standar ASTM E 92-82 dan dilakukan pada temperatur 24°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis pemeriksaan dan pengujian terhadap sambungan hasil pengelasan pada proses *in-service welding* mengacu pada standard AWS D1.1 Pemeriksaan komposisi kimia terhadap kedua *base metal* yang akan disambung dan juga logam pengisi dilakukan sebelum proses pengelasan. Seperti terlihat pada Tabel 1, Logam dasar merupakan pipa dengan material yang sama yaitu baja karbon rendah sesuai dengan

standar API 5L X60. Jenis baja karbon tersebut seringkali digunakan untuk pipa yang mengalirkan fluida minyak dan gas, karena memiliki kekuatan yang tinggi, ketahanan pada temperatur rendah maupun normal yang baik, ketahanan terhadap perambatan retak oleh hidrogen dan juga memiliki kemampuan dilas yang baik.

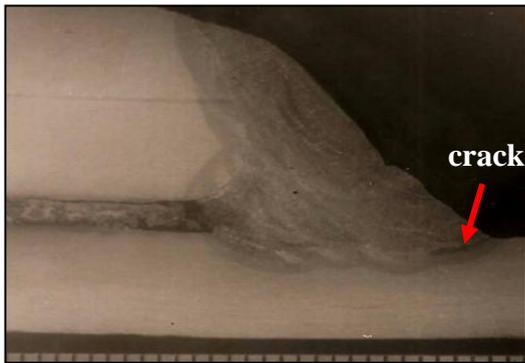
Unsur mangan merupakan unsur pepadu dominan pada API 5L X60 yaitu di atas 1%, mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kekuatan material dan juga mengikat unsur sulfur membentuk MnS agar tidak terjadi retak panas.^[11] Silikon termasuk dalam unsur yang dominan yang mempunyai pengaruh terhadap terbentuknya grafit di dalam fasa ferit serta meningkatkan temperatur transformasi^[6]. Silikon dan mangan adalah unsur yang selalu ada sebagai *deoxidiser*.



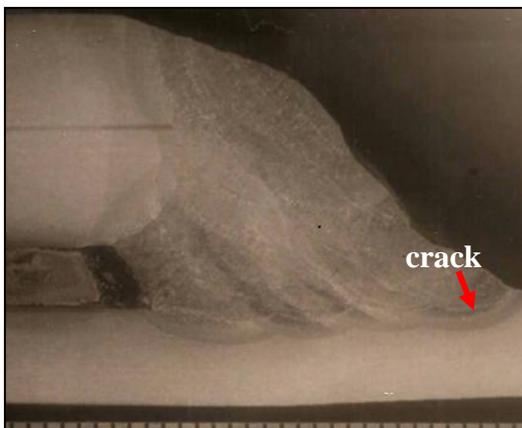
Gambar 2. (a) Skema uji bending (b) Hasil uji bending pada material hasil pengelasan

Pada Gambar 2 terlihat skema dan hasil pengujian bending sampel hasil pengelasan. Sampel uji pada bagian cembung, tidak terlihat retakan atau sobekan bahkan tidak sampai mengalami patah sampai akhir pengujian bending. Hal tersebut menandakan, logam pengelasan dan logam dasar telah homogen dan memiliki keuletan yang baik.

Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur makro pada sampel pipa yang telah dilas dapat terlihat pada Gambar 3, menunjukkan logam pengisi telah bersatu dengan logam dasarnya. Setiap lapisan pengelasan dan daerah terpengaruh panas juga terlihat jelas. API 5L sebagai logam dasar mempunyai kemampuan menyerap panas dengan baik, sehingga HAZ yang terbentuk tidak terlalu besar. Adanya unsur Mn, Ni dan Cr pada logam dasar, membantu menstabilkan kekuatan pada saat proses pengelasan yang bertemperatur tinggi^[6].



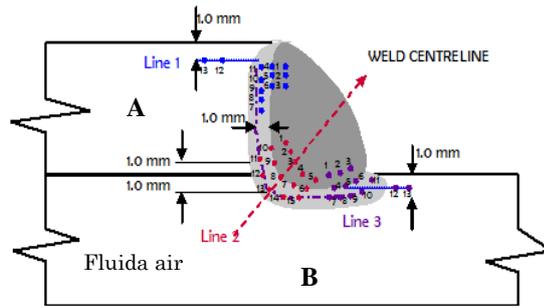
(a)



(b)

Gambar 3. Struktur makro sambungan pipa setelah *in-service welding*; (a) 06⁰⁰-1, dan (b) 06⁰⁰-2

Pada struktur makro tidak terlihat pula adanya cacat pengelasan, seperti inklusi slag, udara yang terjebak yang membentuk lubang udara yang terjebak dan cacat lainnya yang dapat meningkatkan tegangan dalam. Tetapi pada bagian bawah yang terlihat ada crack yang tidak terlihat secara visual dari luar, yaitu pada bagian perbatasan antara logam las dengan HAZ, karena kurangnya pemanasan awal sebelum proses pengelasan.



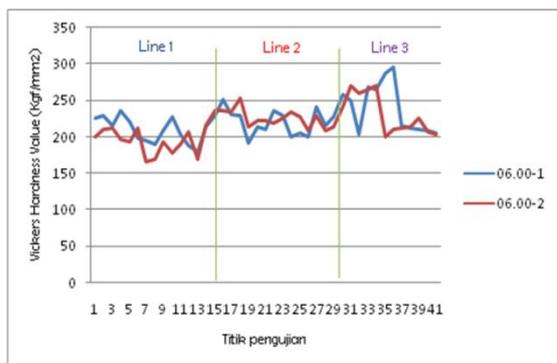
Gambar 4. Lokasi pengujian kekerasan pada daerah pengelasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 garis, dengan masing-masing garis sebanyak 13 titik kecuali pada line 2 sebanyak 15 titik yang mewakili logam dasar, daerah terpengaruh panas, dan juga daerah lasan.. Posisi pengujian kekerasan pada 06.00, sebanyak 2 kali pengujian seperti terlihat pada gambar 4. Pengambilan posisi pengujian kekerasan dari ke-tiga garis tersebut mewakili daerah logam lasan, daerah terpengaruh panas, dan juga logam dasar yang dekat dengan area HAZ. Pada daerah tersebut merupakan daerah kritis yang mengalami pemanasan dan daerah terpengaruh panas dimana terjadi pula perubahan struktur secara mikroskopis.

Tabel 3. Data pengujian kekerasan

Test No	Vicker Hardness Value HV 5, Kgf/mm ²					
	06 ⁰⁰ -1			06 ⁰⁰ -2		
	Line 1	Line 2	Line 3	Line 1	Line 2	Line 3
1	225	214	227	199	216	214
2	229	229	257	210	236	241
3	216	251	249	212	236	271
4	236	231	204	197	234	260
5	221	229	268	192	254	265
6	199	192	265	212	214	271
7	195	214	187	165	223	199
8	190	210	195	168	223	210
9	208	236	216	192	219	212
10	227	229	212	178	225	214
11	204	201	210	190	234	225
12	188	206	208	206	227	206
13	180	201	206	168	208	204
14	-	241	-	-	229	-
15	-	216	-	-	208	-

Tabel 3 merupakan hasil pengujian kekerasan menggunakan vickers, yang nilainya hampir sama yaitu antara 187 – 250 Hv. Tetapi pada line 3 terlihat perbedaan nilai kekerasan yang cukup besar, terutama pada nomor 5 – 6 untuk posisi 06.00-1 dan juga pada nomor 3 – 6 di posisi 06.00-2 yaitu di atas 260 Hv. Perbedaan nilai kekerasan dapat terlihat pada grafik Gambar 5.



Gambar 5. Grafik pengujian kekerasan pada daerah pengelasan pipa API 5L grade X60

Daerah yang mengalami peningkatan kekerasan pada line 3, merupakan daerah logam las yang mendekati perbatasan antara logam las dan daerah terpengaruh panas (HAZ). Nilai kekerasan pada daerah tersebut sangat dipengaruhi fenomena pendinginan yang lebih cepat ketika proses berjalan. Adanya fluida air yang mengalir pada pipa B/pipa utama dengan temperatur jauh lebih rendah dibandingkan dengan temperatur logam cair, memaksa logam cair tersebut membeku lebih cepat dibandingkan daerah yang lainnya yang serupa, dikarenakan pada daerah lain sebelum dilakukan pengelasan telah mendapatkan pengaruh panas dari daerah line 3 (Gambar 4).

Pendinginan yang lebih cepat pada proses *in-service welding*, sama halnya dengan melakukan proses *quenching* pada perlakuan panas, yang memaksa atom karbon larut padat, sehingga menghasilkan *internal stress* yang tinggi dan berpengaruh terhadap nilai kekuatan dan kekerasan material pada daerah tersebut. Kurangnya proses pemanasan awal sebelum proses pengelasan dan jarak waktu antara pemanasan dan dimulainya pengelasan, akan menghasilkan perbedaan temperatur yang cukup signifikan antara fluida kerja, logam dasar, dan logam cair, sehingga seringkali terjadi crack.

Adanya fenomena pendinginan cepat karena juga mempengaruhi besar daerah HAZ pada bagian tersebut lebih sempit dibandingkan dengan HAZ di bagian lain yang jauh dari aliran fluida^[12].

Keberhasilan pada proses pengelasan umumnya, dapat terlihat dari nilai pengujian mekanik yaitu nilai kekuatan yang berhubungan dengan kekerasan daerah logam cair harus lebih tinggi dibandingkan dengan daerah logam dasar maupun daerah terpengaruh panas. Tetapi pada proses *in-service welding*, nilai kekerasan pada daerah HAZ lebih tinggi dari logam dasar maupun logam cair, terutama pada bagian pipa utama yang dialiri fluida kerja^[12].

KESIMPULAN

Metode penyambungan dua buah material atau lebih dengan proses *in-service welding*, akan terjadi fenomena pendinginan cepat pada daerah yang mendekati pipa utama yang dialiri fluida kerja. Nilai kekerasan pada daerah terpengaruh panas akan lebih tinggi dibandingkan daerah logam dasar dan logam cair, dan menghasilkan retakan pada daerah tersebut. Proses pemanasan awal berperan penting terhadap besarnya perbedaan temperatur antara logam cair, logam dasar dan fluida kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijewickreme Dharma, Weerasekara Lalinda. „Pipeline Geotechnical Engineering”. Encyclopedia of Life Support System (EOLSS).
- [2] A.A.Shaikh, J.C.Purohit, 2012. „Investigation of Weld Integrity of X70 Grade Line Pipe by Full Scale Burst Test”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETAE)*, Volume 2, Issue 12. Hal 280-284.
- [3] B.I. Mendoza, et.al. 2010. „Dissimilar Welding of Superduplex Stainless Steel/HSLA Steel for Offshore Applications Joined by GTAW”. *Engineering Journal by Scientific Research Publishing*, Volume 2, Issue 07.
- [4] G.Anggaretno, 2012. „Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada

- Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi $FeCl_3$ ". *Jurnal Teknik ITS*, Vol 1 No.1.
- [5] Setiawan, Ipick, et.al. 2012. „Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* terhadap Sifat Mekanis dan Korosi Sambungan Las Spiral SAW pada Pipa Baja ASTM A252". *Jurnal Energi dan Manufaktur*, Volume 5 No. 1.
- [6] D.B.Rosado, et.al, 2013. „Latest Developments in Mechanical Properties and Mechanical Features of High Strength Line Pipe Steels". *International Journal Sustainable Construction and Design*, Volume 4, Issue 1.
- [7] Japanese Industrial Standard (JIS), 1998. „Ferrous Materials & Metallurgy I". Japan.
- [8] Joanna Nicholas, 2010. „Development and Quality of Welding Procedures Inspection methodology for In-service Welding". TWI, Ltd Document.
- [9] Messler R.W, 1999. „Principles of Welding (Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy)". *Physiks textbook*, John Wiley and Sons, United States.
- [10] M.Zeinoddini, S.Arnavez, A.P.Zandi, Y.Alizadeh Vaghasloo, 2013. „Repair welding influence on offshore pipelines residual stress field: An experimental study". *Journal of Construction Steel Research*, Volume 86, PP.232-240.
- [11] A.Fragiel, R. Schouwenaarf, R. Guardian, and R. Perez, 2005. „Microstructural Characteristics of Different Commercially Available API 5L X65 Steel". *Journal of new material for Electrochemical System* 8, hal.115 – 119.
- [12] D.Nolan,Z. Sterjovski and D.Dunne. „Modelling of HAZ Hardness in C-Mn Pipeline Steels Subjected to In-Service Welding Procedures". IIW Document No. IX-2165-05.