

Pembuatan WPS dan PQR API 5L Gr.B untuk *Manual SMAW* Pipe Supply sesuai Standar API (American Petroleum Institute) - 1104

Gunawan Refiadi¹

**¹Program Studi Pendidikan Teknik Mesin STKIP Sebelas April, Sumedang
Email : g4refiadi@gmail.com**

ABSTRAK

Teknologi pengelasan SMAW telah banyak diaplikasikan di Indonesia mulai dari industri mikro, kecil, menengah, hingga skala industri nasional. Akan tetapi, sampai saat ini pemahaman mengenai prosedur las yang diakui secara internasional belum banyak diaplikasikan bahkan cenderung diabaikan, padahal di era MEA 2015 pemahaman mengenai WPS sangat diperlukan agar pekerjaan dapat diakui secara internasional. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kesesuaian WPS dan hasil simulasinya pada aplikasi pengelasan pipa penyalur (pipe supply). WPS dan PQR dibuat dengan berdasarkan standar API 1104 untuk dapat diaplikasikan pada pengelasan manual metoda SMAW material API 5L Gr.B. Parameter pengelasan yang dirancang di dalam WPS kemudian disimulasikan dalam bentuk pengelasan coupon test dan hasilnya diuji baik NDT maupun DT. Setelah hasil pengujian dianalisa disimpulkan bahwa WPS yang dibuat telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan pengelasan pipa penyalur dapat dilakukan berdasarkan WPS yang telah dibuat

Kata kunci : SMAW, WPS, DT, NDT, API Standard

ABSTRACT

SMAW technology method has been broadening on application in Indonesia. This starts from home, micro, small, medium, as well as national scale industries. However, until this early MEA 2015 period application the WPS and PQR still far from procedure standard required. On the contrary, this WPS should be followed in order to fulfill work acceptance criteria that internationally adopted. This research is devoted to analyze how far the fulfillment of the WPS and its weld simulation practice is. Having the WPS of the SMAW method was made based on API 1104 welding pipe standard with material API 5L Gr.B, WPS parameter simulated through welding coupons test for both NDT dan DT testing requirements. Based on report analysis, it concluded that the SMAW parameters have match to the pipe supply welding requirements and the welding on the API 5L Gr.B similar material process shall be conducted by the resulted WPS.

Keywords : SMAW, WPS, PQR, API Standard

Pendahuluan

Pengelasan merupakan salah satu teknik pembentukan logam sekunder sesuai kategori logam berdasarkan tahapan proses. Hasil lasan (weldment) menurut AWS (American Welding Society) adalah produk logam hasil rakitan yang prosesnya mengaplikasikan teknik pencairan logam lokal di sekitar lokasi material yang disambung. Dari definisi ini, weldment dapat berupa jaringan pipa, konstruksi baja, bejana tekan, menara, jembatan dll.

SMAW adalah penyambungan logam dengan cara pencairan setempat di daerah permukaan benda kerja menggunakan panas busur yang dihasilkan dari aliran

elektron pada celah yang terbentuk di antara elektroda dan benda kerja. Pada definisi SMAW, *shielded metal arc* berarti cairan logam yang terbentuk dilindungi atmosfer gas yang terbentuk di sekitar busur (*arc*) dan logam yang membeku dilindungi *slag*. Baik *atmosfir gas* maupun *slag* dihasilkan dari reaksi kimia logam pengisi (*filler metal*) yang dipakai menjadi bagian komponen sistem SMAW.

Di Indonesia pengelasan konstruksi baja sering dilakukan dengan menggunakan metoda SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Pemilihan SMAW didasarkan kepada kemudahan proses, biaya murah, dan hasil yang cukup memadai untuk keperluan konstruksi. Aplikasi SMAW telah diadopsi

oleh dunia industri baik nasional maupun internasional. Di Indonesia sendiri SMAW sudah diaplikasikan mulai dari skala rumahan (home industry), mikro, small, medium, sampai industry skala nasional. Akan tetapi pelaksanaan yang sesuai dengan kaidah yang terstandar secara internasional, misalnya menurut AWS atau ASME masih sedikit dilakukan. Padahal menjelang MEA, hal ini sangat diperlukan agar kualitas hasil las SMAW karya anak bangsa ini dapat diakui dan bersaing secara regional maupun internasional.

Salah satu kriteria penerimaan kualitas hasil pengelasan adalah dengan membuat spesifikasi prosedur pengelasan (WPS). WPS adalah dokumen proses pengelasan yang dibuat sebelum dilaksanakn fabrikasi pengelasan untuk tujuan memperoleh jaminan keseragaman kualitas suatu hasil proses pengelasan. Jaminan kualitas ini diperoleh dari karena parameter las dalam WPS telah disimulasikan dalam bentuk specimen yang diuji baik melalui metoda uji merusak/DT (*destructive test*) maupun uji tak merusak/ NDT (*non-destructive test*) Tidak hanya itu, baik operator las maupun welder yang melakukan proses las harus memiliki kompetensi yang sesuai untuk menjamin kualitas pengelasan yang dihasilkan.

Riset WPS yang khusus mengarah pada aplikasi pipe supply dengan material API 5L Gr.B, belum dilakukan. Padahal, aplikasi pengelasan pipe supply sangat diperlukan untuk aplikasi industri-industri seperti minyak dan gas, petrokimia, kimia, biofarmasi, farmasi, dan industri kontinu lainnya yang mengandalkan keberlangsungan prosesnya pada terjaminnya supply fluida melalui jaringan pipa yang difabrikasi dengan proses pengelasan. Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan WPS yang dapat dipakai sebagai dasar pelaksanaan fabrikasi pengelasan *pipe supply* material API 5L Gr.B, berdasarkan spesifikasi API 1104, sehingga penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan informasi bagi dunia

industri serta dapat bermanfaat pula untuk perkembangan dunia pendidikan teknik mesin maupun teknik material di Indonesia.

Studi Pustaka

Material API 5L Grade B merupakan spek pipa baja (*seamless* dan *welded*) kekuatan tinggi untuk keperluan konstruksi *pipelines* [1] dimana diperlukan tingginya kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan. Karakteristik mekanik ini diadaptasi oleh ukuran butir kecil yang dihasilkan dari proses *fully killed* dan *Al treating* [2]. Baja ini dipakai pula untuk konstruksi pipa penyalur minyak dan gas alam. Pengelasan ya telah banyak dibuktikan sebagai metoda las yang ekonomis untuk pengelasan baja konstruksi. Hal ini ditinjau dari sisi peralatan, bahan, upah pekerja. Studi komparatif SMAW dan FCAW pada material API 5L [3] menunjukkan bahwa kedua metoda dapat menghasilkan kualitas las yang baik untuk aplikasi di lapangan. Metoda SMAW memungkinkan perlindungan weldpool dan weldment secara simultan karena flux dari elektroda akan menghasilkan shielding gas dan slag untuk melindungi proses pengelasan dari pengaruh lingkungan atmosfer.

Berdasarkan studi pustaka metoda SMAW untuk pengelasan APLI 5L diketahui bahwa dari hasil penelitian [4], ditemukan adanya pengaruh posisi las SMAW terhadap sifat mekanik hasil lasan. Demikian pula kekuatan fatigue di lingkungan HCL dipengaruhi oleh tingkat tegangan [5]. Hasil penelitian [6] menemukan adanya anomali heat input, dimana ketangguhan dan mampu las material API 5L tidak dipengaruhi oleh tinggi rendahnya masukan panas SMAW yang dilakukan. Kemudian, penelitian [7] telah menemukan pula bahwa karakteristik korosi material API 5L dipengaruhi oleh beda kekuatan tarik antara elektroda dan base metal. Bila kekuatan tarik elektroda lebih rendah dari base metal, maka diperoleh ketahanan korosi yang rendah, dan sebaliknya. Demikian pula untuk heat input

las ERW ditemukan tidak berpengaruh terhadap harga kekerasan weldment material API 5L Grade B [8].

WPS dan PQR dalam pengelasan merupakan upaya untuk memperoleh kualifikasi kualitas lasan sesuai spek yang ditentukan [9]. WPS merupakan dokumen menentukan bagaimana proses las harus dilakukan untuk memastikan pencapaian kualitas dan kekuatan hasil las. WPS berisi variabel las yang esensial beserta besarnya. Sedangkan PQR merupakan catatan/rekaman yang dibuat saat dilakukan simulasi pengelasan berdasarkan data WPS. Hasil ini akan menentukan kualifikasi WPS.

Bahan dan Metodologi

Pada penelitian ini, WPS dan PQR untuk pengelasan SMAW manual pada material API 5L Grade B (diameter pipa 219.08 mm x tebal 8.18 mm) dengan komposisi kimia dan sifat mekanik pada Tabel-1 dilakukan berdasarkan standar API 1104. Material di atas merupakan baja kekuatan tinggi (diatas 40 kg/mm²) untuk keperluan konstruksi *pipelines* [1] dengan standar teknik PSL 2.

Tabel-1 : Komposisi kimia dan sifat mekanik material API 5L Gr.B[11][10]

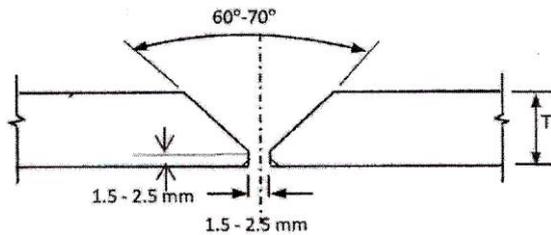
Standar	Komposisi Kimia, % (max)				σ_u (MPa)		e (%)
	C	Mn	P	S	Min	Max	
API-5L (Gr. B)	.27	1.15	.03	.03	414	758	21.5 - 29.5

Artinya material ini memiliki standar ketat yang harus dipenuhi dalam hal karbon ekuivalen, *notch toughness*, kekuatan luluh maksimum $\sigma_{y_{max}}$, dan kekuatan tarik maksimum $\sigma_{u_{max}}$ [10]

Selanjutnyapemilihan elektroda E6010 dan 7010 didasarkan pada pertimbangan aplikasinya yang mampu dipakai untuk seluruh posisi pengelasan (*flat, vertical, horizontal, dan overhead*), fleksibilitas polaritas pengelasan, dan kekuatan yang dihasilkan. Elektroda E6010 dipakai pada *root pass* dan *hot pass*. Sedangkan untuk filler digunakan elektroda E7010. Kedua elektroda ini memiliki jenis coating material *Cellulose-Sodium* yang mampu memberikan efek penetrasi dan kontrol yang baik pada *root pass* [3] karena mampu menghasilkan gas-gas reduktor seperti CO₂ dan H₂.

Pengelasan pipa diawali pada *root pass* karena merupakan bagian paling kritis pada pengelasan pipa baik secara manual maupun otomatis. Karena itu operator maupun welder harus memiliki keterampilan dan kemampuan kontrol baik sehingga diperoleh hasil las yang bebas *undercut, lack of fusion*, porositas, dan mencapai sifat mekanik yang baik.

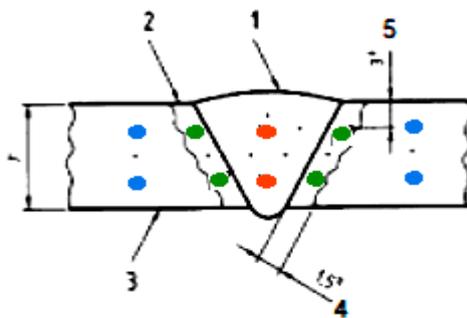
Sketsa sambungan las (gambar-1) memperlihatkan dimensi dan ukuran preparasi material pada tipe sambungan *butt joint* untuk alur pengelasan *single V-groove*. Setelah proses pengelasan selesai, material dipotong untuk pengujian kekuatan tarik, bending, nick break, dan kekerasan sesuai standar API 1104.Lokasi pengambilan sampel (gambar-2).



Gambar-1 sketsa preparasi sambungan las SMAW untuk ketebalan pipa 4,76-19,05 mm.

T = depth of bevel, groove angle = 60-70°, root opening (jarak dasar) dan root face (tinggi dasar las) = 1,5~2,5 mm.

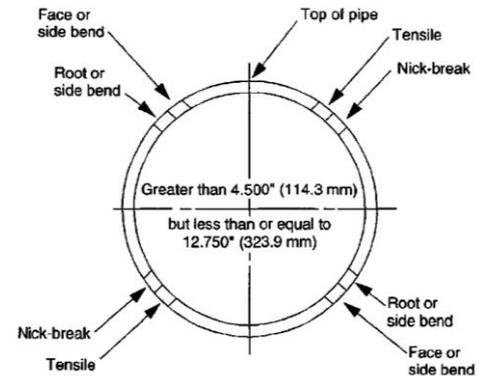
Lokasi pengambilan titik pada pengujian kekerasan diperlihatkan pada gambar-3. Untuk mengetahui profil kekerasan, titik pengujian kekerasan diambil pada penampang melintang permukaan lasan.



Gambar-3 skema pengambilan titik pengujian kekerasan material hasil lasan [12].

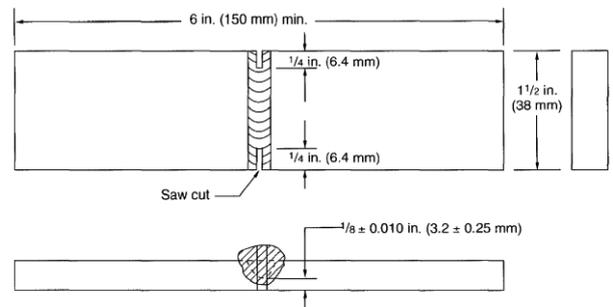
1) weld metal, 2) HAZ, 3) Base Metal, 4) 1,5 mm (typical),

5) 3,0 mm (typical)



Gambar-2 lokasi pengambilan sampel pengujian hasil lasan pipa untuk ukuran $\leq 323,9$ mm [10]

Sedangkan pengujian kekerasan dimulai dari bagian *weldment* kemudian diteruskan ke sisi kiri dan sisi kanan *weldment* melewati daerah terkena pengaruh panas (HAZ) hingga ke bagian logam dasar atau *base metal* (BM).



Gambar-4 dimensi dan ukuran specimen nick break test berdasarkan API 1104 dan jumlah specimen pengujian disyaratkan 2 buah [10]

Selanjutnya untuk *Nick Break Test* (NBT), gambar-4 menunjukkan skema bentuk, geometri, dan ukuran specimen yang ditentukan standar API 5L. Pengujian ini ditujukan untuk melihat seberapa tinggi kontinuitas sambungan las di daerah weldment.

Hasil dan Pembahasan

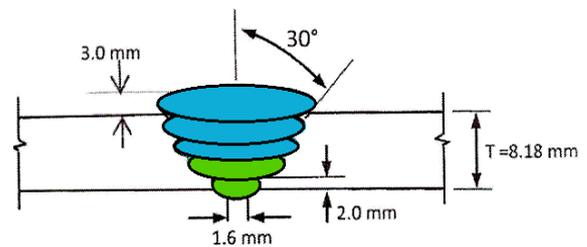
Pass Geometry, WPS, PQR, dan Heat Input

Gambar-5 memperlihatkan sketsa *pass geometry* yang dimulai dari *root pass* dan *hot pass* menggunakan elektroda AWS A.5.1 E6010 dia. 2,5 mm (warna hijau) kemudian diteruskan pada *pass filler* dan *capping* memakai elektroda AWS A.5.5 E7010 dia. 3,5 mm (warna biru). Tampak pada gambar, dimensi masing-masing adalah tebal pelat, 8,18 mm, *face reinforcement* 3,0 mm, *root face* 2,0 mm dan *root opening* 1,6 mm, serta *groove angle* 60° (2 x 30°).

Selanjutnya, rangkuman data WPS dapat dilihat pada tabel-2. Sedangkan perbandingan parameter pengelasan SMAW untuk polaritas DCRP antara WPS dan hasil PQR ditampilkan pada tabel-3. Dari tabel ini dapat dilihat harga arus, tegangan, dan kecepatan sehingga dapat dihitung heat input berdasarkan WPS sesuai persamaan (1)

dengan kisaran antara 0,03 – 0,045 kJ/mm sedangkan dari berdasarkan PQR diperoleh kisaran heat input antara 0,02 – 0,04 kJ/mm atau terjadi perbedaan harga heat input sebesar 5% lebih kecil daripada harga yang ditentukan dalam WPS. Pada bagian selanjutnya perbedaan kecil ini akan dianalisis pengaruhnya melalui pembuktian hasil pengujian mekanik.

$$\text{Heat Input} = \frac{V \times I}{1000 \ v} \quad (1)$$



Gambar-5 sketsa *pass geometry* PQR las SMAW.

Warna biru : filler pass dan capping (elektroda E7010),

Warna hijau : root dan hot pass (elektroda E6010).

Tabel-2 data pengelasan SMAW manual antar material API 5L Gr.B polaritas DCRP

Description	Data
Posisi / Arah	Tetap (5G) / Turun
Jenis Sambungan	Single V groove
Jumlah Lapisan	5 Pass
Tebal & Dia. pipa	8.18 mm & 219.08 mm
Dia. Elektroda (mm)/pass	E.6010(2.5)/root & hot pass & E.7010 (3.2)/filler & capping
Ampere	75 – 150 A
Tegangan	20 – 30 Volt
Kecepatan Las	50 – 150 mm/menit
Waktu antar pass	10 menit
Heat Input	0,03 – 0,045 kJ/mm
Destructive Test	Tensile, Nick Break, Bending, dan Hardness

Tabel 3 parameter pengelasan SMAW DCRP berdasarkan WPS dan PQR

Pass	Elektroda	Ampere	Volt	Velocity
WPS				
Root	E 6010 dia. 2,5 mm	75-110	20 – 30	50 – 100
Hot		75-120		
Filler	E 7010 dia. 3,2 mm	100-120		
Filler		120-150		50 - 150
Capping				
PQR				
Root	E 6010 dia. 2,5 mm	75-80	24 – 26	80
Hot		75-100		
Filler	E 7010 dia. 3,2 mm	105-120	26 – 29	106
Filler		125-140		
Capping				

Non-Destructive Test	Radiography
----------------------	-------------

Carbon ekivalen

Harga karbon ekivalen (CE) merupakan indikator mampu las suatu material. Untuk material API 5L Grade B, harga CE dihitung berdasarkan rumus (1) [10] dan berdasarkan komposisi kimia (tabel-1), diperoleh harga CE sebesar 0,46. Harga CE tersebut tergolong cukup kecil dan mengindikasikan mampu las material API 5L grade B yang dipakai adalah baik.

$$CE[IW] = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo + Cr + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

Pengujian Kekuatan Tarik

Dari data PQR hasil pengujian kekuatan tarik (tabel 4) diperoleh informasi bahwa kekuatan tarik rata-rata *base metal* sebesar 49,145 kg/mm² masih berada pada rentang standard API 5L (44,2 ~ 77,3 kg/mm²). Namun demikian bila melihat

gambar-6, dimana lokasi patah berada di *base metal*, hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan weldment lebih besar daripada kekuatan base metal. Kekuatan weldment ini dapat diprediksi berasal dari kontribusi harga kekuatan tarik elektroda E6010 dan E7010 (42,2 dan 49,23 kg/mm²) dan faktor dilusi dari base metal ke weldment. Berdasarkan tabel-4 dan *pass geometry* (gambar 5) dapat dihitung bahwa sekitar 75% volume weldment dikontribusi oleh elektroda E7010 dan 25% oleh E6010 sehingga estimasi kekuatan tarik elektroda rata-rata 47.47 kg/mm². Harga ini belum membuktikan kekuatan weldment lebih besar daripada base metal. Dengan demikian dapat diduga bahwa kontribusi kekuatan tarik weldment diperoleh dari tambahan efek dilusi yang terjadi selama pengelasan. Untuk membuktikan hal ini kiranya perlu pembuktian tambahan dengan melaksanakan penelitian lebih lanjut.

Tabel 4 data PQR hasil pengujian kekuatan tarik hasil pengelasan berdasarkan parameter WPS

No. Spesimen	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Beban (Kg)	σ _u (kg/mm ²)	Cacat & Lokasi
	L	t				
T 1	25	8.2	205	10100	49.27	Patah pada BM
T 2	25	8.2	205	10050	49.02	Patah pada BM
Standard API 5L					42,2~77,3	
E6010					42,20	
E7010					49,23	



Gambar-6 hasil pengujian kekuatan tarik sesuai API 1104 [10]. Lokasi patah pada base metal mengindikasikan WPS dapat direkomendasikan sesuai PQR

Nick Break Test (NBT)

Hasil NBT diperlihatkan pada gambar 7(a) ~ (c), Standard API 5L [10] memberikan kriteria penerimaan hasil NBT sebagai berikut :



Gambar-7 a) posisi patahan specimen NBT setelah pengujian, b) dan c) penampang patahan tidak menunjukkan adanya indikasi *gas pocket* maupun *slag inclusion*

1. Tidak terdapat *gas pocket* melebihi 1,59 mm di segala arah
2. Jumlah *gas pocket* maksimal hanya 1 buah untuk tebal antara 6,4 s/d 12,7 mm
3. Jumlah *gas pocket* maksimal hanya 3 buah untuk tebal $\geq 12,7$ mm
4. Inklusi slag harus terpisah pada jarak minimal 12,7 mm dengan lebar 1,59 mm atau panjang 4,76 mm

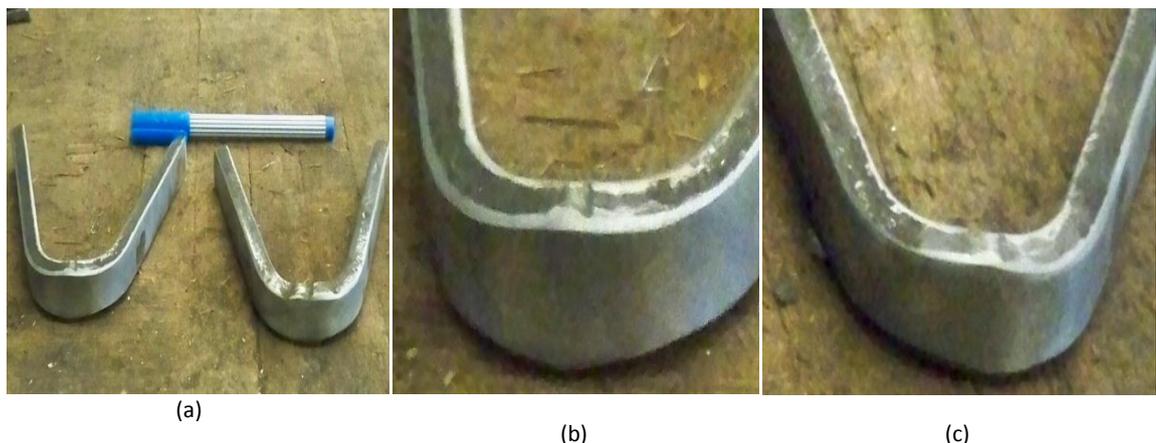
Lokasi patah specimen NBT tepat berada di daerah weldment. Hasil pengamatan visual pada gambar 7b) dan 7c) tidak memperlihatkan adanya indikasi *gas pocket* maupun inklusi slag. Artinya hasil

NBT telah memenuhi kriteria API 5L. Permukaan patah specimen NBT yang memenuhi kriteria ini memperkuat bukti bahwa kekuatan weldment lebih besar daripada base metal.

Pengujian Bending

Hasil pengujian bending diperlihatkan pada gambar 8. Kriteria penerimaan yang diberikan oleh API 5L [10] adalah sebagai berikut:

1. Specimen dikatakan lolos uji apabila setelah pengujian tidak terdapat cacat berupa retak lebih dari 3,18 mm baik pada *base metal* maupun *weldment*



Gambar-8 a) specimen hasil uji bending, b) dan c) permukaan las hasil uji bending menunjukkan tidak adanya keretakan pada weldment. Hasil ini telah memenuhi kriteria hasil uji bending berdasarkan standar API 5L.

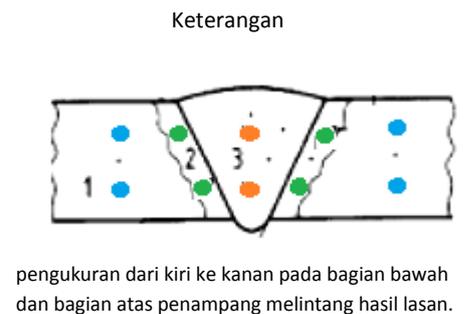
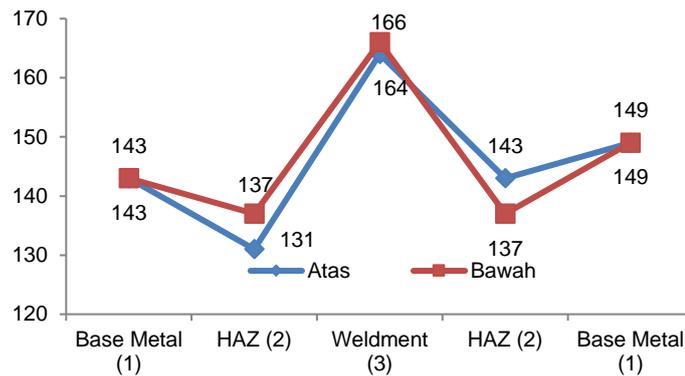
- Retak yang muncul selama pengujian dan berada di sepanjang sisi specimen, asal tidak lebih dari 6,35 mm dapat dikategorikan masuk persyaratan

Berdasarkan hasil pengujian dan dokumentasi pengamatan visual (gambar 8) yang menunjukkan kedua specimen tidak mengalami retak maka dikatakan bahwa parameter WPS telah memenuhi dua kriteria API 5L di atas.

Pengujian Kekerasan

Selanjutnya untuk pengujian kekerasan pada gambar-9 diperlihatkan profil harga kekerasan material berdasarkan daerah pengelasan. Grafik dihasilkan dari dua kali pengukuran kekerasan, masing-masing pada bagian atas dan bagian bawah yang masing-

masing diambil dari jarak 1 mm dari permukaan. Tampak bahwa daerah weldment baik pada bagian atas maupun bagian bawah penampang lasan memiliki harga kekerasan paling tinggi +/- 165 HV bila dibandingkan dengan daerah base metal +/- 143-149 HV maupun HAZ +/- 131-143 HV. Meskipun demikian, harga kekerasan maksimum di daerah weldment ini tidak mempengaruhi weldment pada tingkat kegetasan. Artinya keuletan weldment masih dalam batas memadai. Hal ini didukung dengan hasil uji bending yang tidak menunjukkan adanya retak pada weldment. Dukungan lain terhadap hal ini adalah hasil uji tarik, dimana patah terjadi pada base metal. Dari sini dapat dikatakan bahwa harga kekerasan tertinggi di daerah weldment tidak berpengaruh pada kegetasan dan penurunan kekuatan weldment.



Gambar-9 profil harga kekerasan (HV) material API 5L Grade B berdasarkan PQR

Dari hasil keseluruhan pengujian mekanik dapat dilihat bahwa data WPS yang telah menentukan pemilihan elektroda berbasis selulosa, penggunaan arah pengelasan menurun, serta aplikasi urutan *pass* berdasarkan urutan elektroda E6010 dan E7010, dan aplikasi kecepatan las antara 80 ~ 106 mm/menit telah memberikan hasil pengujian mekanik yang memenuhi kriteria API 5L.

Elektroda basis selulosa telah membuktikan kinerjanya pada las SMAW ini dimana *shielding gas* yang dihasilkannya terbukti dapat memberikan perlindungan terhadap *weldpool* maupun *weldment*. Hal ini tampak dari hasil pengamatan visual pada penampang *weldment* specimen

NBT yang bebas *gas pocket* dan *slag inclusion*. Terakhir, dari profil kekerasan logam las, dimana kekerasan weldment memiliki harga tertinggi, namun tidak menjadikan getas di daerah weldment. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya patah di daerah *base metal* pada specimen uji tarik. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa parameter las yang tercatat pada PQR sudah memenuhi kriteria API 5L. Sehingga WPS yang dibuat dapat dipergunakan pada pengelasan material API 5L Grade B untuk aplikasi pipa penyalur fluida.

KESIMPULAN

Perencanaan dan simulasi pengelasan pipa API 5L Grade.B untuk aplikasi pipa penyalur fluida telah dilakukan dengan pembuatan WPS dan PQR. Hasil pengujian kualitas pengelasan SMAW manual melalui metoda *destructive test* (kekuatan tarik, NBT, bending, dan kekerasan) telah sesuai dengan kriteria penerimaan API 5L Grade B. Hal ini menunjukkan bahwa WPS yang dibuat telah memenuhi kriteria pengelasan yang diinginkan dan dapat dipergunakan sebagai referensi produksi pengelasan pipa penyalur fluida.

Daftar Pustaka

- [1] .. R. Verra, "Comparative Study of the Behavior of API 5L-X65 Grade Steel and ASTM A53-B Grade Steel against Corrosion in Seawater," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 10, pp. 6187-6198, 2015.
- [2] A. Mittal, "Hot rolled strip for line pipe (sweet service)," Arcelor Mittal, South Africa, Vanderbijlpark, 2010.
- [3] L. Electric, "Welding on High Yield Pipe," 1 12 2015. [Online]. Available: <http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/high-yield-pipe-detail.aspx>. [Accessed 8 12 2015].
- [4] Aguswandi, "Pengaruh Posisi Pengelasan Pada Sambungan Las Listrik Terhadap Kekerasan Pipa Baja Api 5L Grade B," *Jurnal PTM Universitas Padang*, vol. 1, no. 3, 2014.
- [5] W. Wardhana, "Studi Corrosion Fatigue Pada Sambungan Las SMAW Baja API 5L Grade X65 Dengan Variasi Waktu Pencelupan Dalam Larutan HCl," 11 2 2010. [Online]. Available: <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9770-Paper.pdf>. [Accessed 8 12 2015].
- [6] Tarmizi, "Ketangguhan Material Api 5L X60 Terhadap Masukan Panas Pada Proses Pengelasan Elektroda Terbungkus," *Journal of Industrial Research*, vol. 8, no. 1, pp. 43-51, 2014.
- [7] R. S. Anggaretno, "Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl3," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1, no. 1, pp. G-124 ~ G-128, 2012.
- [8] K. Sardjono, "Pengaruh Masukan Panas Sambungan Las ERW terhadap Kekerasan Material Pipa Baja API 5L Gr.B," *M.P.I*, vol. 1, no. 3, pp. 22-27, 2007.
- [9] R. M. E. T. Diana David, "Exploring the Need to Include Cast Carbon Steels in WPS," *Welding Journal*, pp. 56-58, 10 2015.
- [10] A. S. 1104, *Welding of Pipe Lines and Related Facilities*, Washington, D.C.: API Publishing Services, 2004.
- [11] A. P. Institute, "Section 7 of API Specification 5L," in *API Specification for Line Pipe*, API, 2012, pp. 5L-1 ~ 5L-4.
- [12] Vincent Chou, "Submerged-Arc-Welded Steel Pipe Specification," Enbridge Pipelines Inc., Calgary, Canada, 2006.