

KETANGGUHAN MATERIAL API 5L X60 TERHADAP MASUKAN PANAS PADA PROSES PENGELASAN ELEKTRODA TERBUNGKUS

THE MATERIALS TOUGHNESS API 5L X60 ON HEAT INPUT WITH SHIELDED METAL ARC WELDING PROCESS

Tarmizi

Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian

Jl. Sangkuriang No. 12, Bandung - Indonesia

e-mail: tarmizi@kemenperin.go.id

diajukan: 24/02/2014, direvisi: 25/03/2014, disetujui: 14/04/2014

ABSTRACT

This research was conducted to obtain the optimum process parameters so that it can be used in the field. Welding process parameters determine the quality of a weld because it will affect the strength and toughness of the weld results. The welding parameters will generate heat input will affect the weld metal, the heat and the local influence of the base metal. By variation of the heat input and the expected strength and toughness of the weld results still meet the standards so that the field can be quality assured production. SMAW welding process used the API 5L X60 pipe material with 620 mm diameter 12.7mm thick. The results do non destructive testing (visual test, test magnetic particle, ultrasonic testing and radiographic testing) and destructive testing (tensile test, the macro test, hardness test, bending test and nick break and charpy impact test). From the results of tests carried out showed that the high heat input resulted in greater dilution that produces weld metal wider area compared to the low heat input. Results of impact test at a temperature of -10 ° C is still eligible is above 35 Joules, hardness test results are still eligible namely still below 250 HV for the weld root area and below 275 HV weld surface, as well as for the bending test results and nick break still qualify test. The results of tensile testing of weld metal and welded joints still qualify above the minimum tensile strength of the material API 5L X60 so it has the toughness and good weldability under conditions of low and high heat input.

Keywords: Toughness API 5L X60, heat input, weldability

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan parameter proses yang optimum sehingga dapat digunakan dilapangan. Parameter proses pengelasan sangat menentukan kualitas dari hasil pengelasan karena akan mempengaruhi kekuatan dan ketangguhan dari hasil lasan. Parameter pengelasan tersebut akan menghasilkan masukan panas yang akan berdampak pada logam las, daerah pengaruh panas dan logam induk. Dengan variasi masukan panas yang rendah dan yang tinggi diharapkan kekuatan dan ketangguhan hasil lasan masih memenuhi standar sehingga proses produksi dilapangan dapat dijamin kualitasnya. Proses pengelasan yang digunakan SMAW dengan material pipa API 5L X60 diameter 620 mm tebal 12,7 mm. Hasil pengelasan dilakukan pengujian tidak merusak (uji visual, uji maknetik partikel, uji ultrasonik dan uji radiografi) dan pengujian merusak (uji tarik, uji makro, uji kekerasan, uji tekuk dan nick break serta uji impak charpy). Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa masukan panas tinggi menghasilkan dilusi yang lebih besar yang menghasilkan daerah logam lasnya lebih lebar dibandingkan dengan yang masukan panas rendah. Hasil uji impak pada temperatur -10 °C masih memenuhi syarat yaitu di atas 35 Joule, hasil uji kekerasan masih memenuhi syarat yaitu masih di bawah 250 HV untuk daerah akar las dan di bawah 275 HV dipermukaan las, demikian juga untuk hasil uji tekuk dan nick break masih memenuhi syarat uji. Hasil uji tarik logam las dan sambungan las masih memenuhi syarat di atas kekuatan tarik minimum sehingga material API 5L X60 ini memiliki ketangguhan dan mampu las yang baik pada kondisi masukan panas rendah maupun tinggi.

Kata kunci: Ketangguhan API 5L X60, masukan panas, mampu las

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan

dan penambahan logam pengisi. Energi yang diperlukan pada proses pengelasan dihasilkan dari sumber energi dari luar.

Proses pengelasan dan penyambungan sangat penting dalam

pengembangan produk dan hampir digunakan disetiap proses produksi. Namun, proses ini kadang kala menimbulkan biaya yang lebih besar dalam proses produksinya dan menimbulkan kesulitan yang lebih besar dalam proses produksinya tidak seperti yang diharapkan. Ada beberapa alasan yang menjadi penyebabnya, yaitu: pertama proses pengelasan dan penyambungan yang beragam, baik dari segi variasi proses (seperti menyolder, mematri, pengelasan busur dan pengelasan tahanan) dan membutuhkan disiplin ilmu yang memadai untuk memecahkan permasalahannya dan bahkan seorang *engineer* dengan pengalaman yang luas dan pelatihan yang mendalam diperlukan untuk menerapkan secara efektif untuk berbagai proses. Kedua kesulitan pada proses pengelasan dan penyambungan biasanya terjadi pada proses manufaktur, nilai relatif bagian yang dihilangkan sangat tinggi. Ketiga persentase kegagalan produk sangat besar terjadi pada sambungan karena letak tegangan itu.²

Kepekaan baja terhadap retak lasan dapat diperkirakan secara kasar dengan menggunakan nilai kesetaraan karbon (*Carbon Equivalent*) persamaan 1. Jika nilai *Carbon Equivalent* (CE) 0,45% maka baja dikatakan mampu dilas tanpa menggunakan tindakan pencegahan khusus, seperti pemanasan awal, pemanasan akhir atau menggunakan elektroda hydrogen rendah. Rumus nilai *Carbon Equivalent* berdasarkan *International Institute of Welding* (IIW) dan standar DNV-OS-F101, Submarine Pipeline Syatems, August 2012 bahwa nilai CE adalah sebagai berikut:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad ..1$$

Dimana: CE = Carbon Equivalen
 C (Carbon), Mn (Manganum), Cr (Cromium),
 Mo (Molibdenum), V (Vanadium), Ni (Nikel),
 Cu (Cuprum).

Sedangkan untuk nilai sensitivitas retak atau derajat keretakan material (*Critical Material Parameter, P_{cm}*) nilai sensitivitas retak untuk pipa baja (*pipe steel*) *P_{cm}* 0,15% sesuai persamaan 2. Rumus nilai sensitivitas retak (*P_{cm}*) berdasarkan persamaan 2.

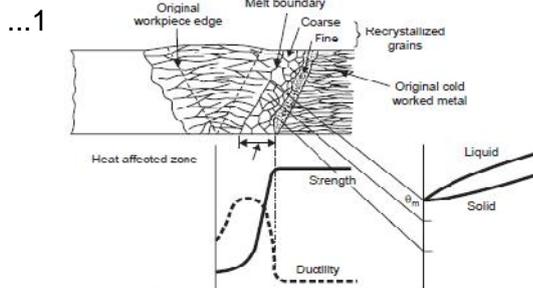
$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad2$$

Dimana: *P_{cm}* = *Critical Material Parameter*
 C (Carbon), Si (Silikon), Mn (Manganum), Cu (Cuprum), Ni (Nikel), Cr (Cromium), Mo (Molibdenum), V (Vanadium), B (Barium).

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih yang melibatkan pencairan logam dan atau tanpa penekanan akibat adanya energi panas yang diberikan sehingga terbentuk sambungan yang kontinyu. Panas yang terjadi mengakibatkan logam disekitarnya mengalami siklus termal yang relatif cepat sehingga terjadi fonomena metalurgi yang kompleks, deformasi dan tegangan-tegangan termal.

Siklus termal pada daerah lasan dapat dibagi atas tiga bagian utama yaitu daerah logam las (WM, *Weld Metal*), daerah terpengaruh panas (HAZ, *Heat Affected Zone*), dan logam induk (BM, *Base Metal*).

Pada bagian logam las *weld metal* terjadi proses pencairan kemudian proses pembekuan (solidifikasi). Perubahan fasa cair ke padat untuk logam-logam yang berfasa tunggal dan perubahan fasa padat ke fasa padat yang lain untuk logam berfasa majemuk seperti logam paduan, setiap transformasi fasa senantiasa diiringi dengan perubahan volume (V) yang mengakibatkan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) dan distorsi. Struktur mikro yang terjadi pada daerah *weld metal* yaitu kolumnar, seperti terlihat pada Gambar 1. Jika konfigurasi bentuk dan ukuran butir hasil dari proses lasan yaitu kolumnar dan equaxial atau adanya fonomena metalurgi yang lain seperti segregasi maka kekuatan logam akan turun.



Gambar 1. Struktur mikro daerah logam las, HAZ dan logam induk²

Pada bagian yang dipengaruhi panas HAZ (*Heat Affected Zone*) karakteristik yang terjadi adalah pencairan logam induk sehingga terjadi pencampuran dengan logam las, fenomena metalurgi yang terjadi adalah proses pemaduan. Di daerah HAZ juga terjadi proses perubahan fasa dari satu fasa padat ke fasa padat lainnya disertai dengan perubahan volume.

Di daerah HAZ akibat gradien temperatur mampu mengubah: 1. Struktur mikro dalam aspek bentuk dan ukuran, terjadi pembesaran butir (*Grain Growth*) dan rekristalisasi. 2. Struktur mikro dalam aspek fasa terjadi transformasi fasa. 3. Terjadi konfigurasi tegangan dalam (*internal stress*). Di daerah HAZ ukuran butir berkaitan erat dengan sifat mekanik logam, jika butir halus memiliki kekuatan yang tinggi, sedangkan butir yang besar mempunyai kekuatan yang rendah. Sehingga logam yang digunakan untuk logam las harus 15% lebih tinggi dari logam induk.

Pada daerah yang dipengaruhi panas yaitu pada logam induk (*base metal*) fonometalurgi yang terjadi adalah proses perlakuan panas. Struktur mikro di daerah *base metal* dan perubahan struktur mikro disekitar logam las.

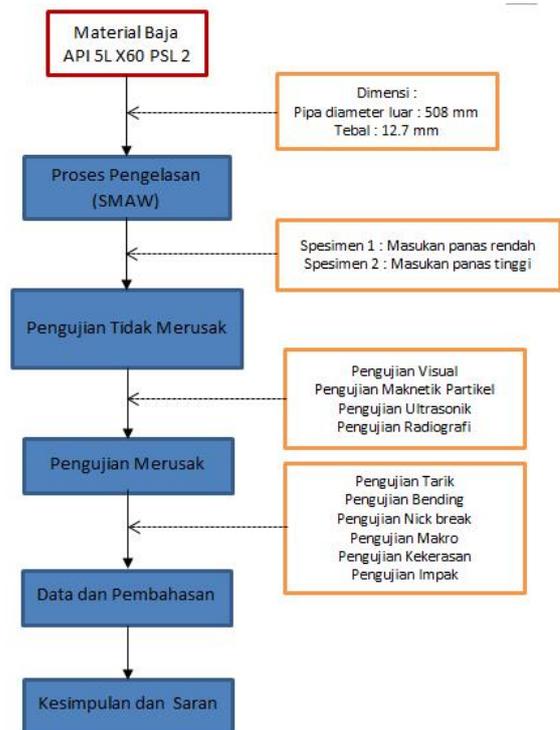
Penomena di atas sangat dipengaruhi oleh masukan panas (*heat input*) dengan parameter pengelasan yang digunakan sangat berpengaruh pada struktur logam las, persamaan 3 di bawah ini digunakan untuk menghitung masukan panas yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

$$H = \frac{V \times I}{S} \times 60 \quad \dots\dots 3$$

Dimana: H = masukan panas, J, V = voltase, V
I = arus listrik, A,
S = kecepatan pengelasan, mm/menit

METODE

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian percobaan pengelasan dan pengujian yang diperlukan untuk menghasilkan data dan analisa yang urutan prosesnya seperti pada Gambar 2. Skema Penelitian.



Gambar 2. Skema penelitian

Pada penelitian ini dilakukan serangkaian percobaan pengelasan dengan menggunakan proses las elektroda terbungkus (*shielded metal arc welding, SMAW*) yang mana masukan panas dipilih yang terendah dan tertinggi dengan variasi kecepatan pengelasan dan parameter proses lainnya seperti arus dan voltase sehingga didapatkan jangkauan masukan panas yang besar antara yang rendah dengan yang tinggi sehingga memudahkan aplikasi dilapangan, polaritas listrik yang digunakan DC positif dan arah pengelasan turun, parameter proses dapat dilihat pada Tabel 1. Kawat las yang digunakan adalah kawat las dengan standar AWS E 7010-P1 untuk lasan pertama dan kedua sedangkan kawat las untuk lasan berikutnya sampai selesai menggunakan kawat las AWS E 8010-G dengan proses pengelasan vertikal turun.

Tabel 1. Parameter proses pengelasan

Lasan	Kawat las		Arus, Amp	Voltase, Volt	Kec.las, mm/min	Masukan panas, KJ/mm
	AWS	Ø, mm				
1	E7010-P1	3.2	68-105	22-26	138-238	0.38-1.186
2	E7010-P1	3.2	72-135	22-28	111-258	0.37-2.043
3	E8010-G	4.0	102-140	22-30	118-256	0.525-2.791
4	E8010-G	4.0	94-140	22-30	86-198	0.626-2.930
5	E8010-G	4.0	110-178	22-30	91-189	0.768-3.520
6	E8010-G	4.0	108-139	22-30	87-165	0.864-2.875
7	E8010-G	4.0	109-150	22-30	87-192	0.749-3.103

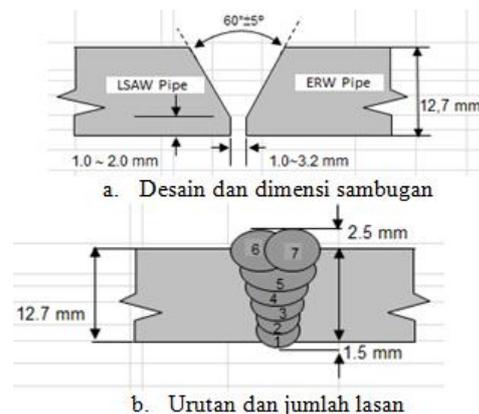
Spesimen uji yang digunakan material pipa baja karbon dengan grade API 5L X60 PSL 2 dengan kondisi material Thermomechanical Rolled dengan diameter luar 508 mm dan tebal 12,7 mm, spesifikasi material dari *mill certificate* untuk pipa tersebut seperti pada Tabel 2. Pipa tersebut difabrikasi dengan proses pengelasan busur rendam dengan sambungan memanjang (*longitudinal submerged arc welding, LSAW pipe*) dan pipa berikutnya difabrikasi dengan proses pengelasan tahanan (*electric resistant welding, ERW pipe*). Desain dan dimensi sambungan berbentuk kampuh V (*V groove*) seperti pada Gambar 3 huruf a sedangkan urutan dan jumlah lasan seperti pada Gambar 3 huruf b.

Tabel 2. Spesifikasi Material API 5L X60 PSL 2

試片記号	耐力	引張強さ	伸び	降伏比
Spec. Mark	Yield Strength	Tensile strength	Elongation(%)	Yield Ratio(%)
TS	Min.	60.2	75.4	24
	Max.	77.6	95.7	90
LS	Min.	60.2	75.4	24
	Max.	80.5	95.7	92
TW	Min.	75.4		
	Max.			
	Min.			
	Max.			

製造番号		01-09579		01-09577	
Manufacture No.		01-09579		01-09577	
鋼番		5-2605		5-2605	
管理Code-Heat No.		5-2605		5-2605	
		Min.	Max.		
C	% L	0.10	0.04	0.04	0.04
	% P	0.10	0.04	0.04	0.04
Si	% L	0.40	0.15	0.15	0.15
	% P	0.40	0.16	0.16	0.16
Mn	% L	1.60	1.19	1.19	1.19
	% P	1.60	1.19	1.18	1.18
P	% L	0.015	0.003	0.003	0.003
	% P	0.015	0.003	0.003	0.003
S	% L	0.002	0.000	0.000	0.000
	% P	0.002	0.000	0.000	0.000
Cu	% L	0.35	0.06	0.06	0.06
	% P	0.35	0.06	0.06	0.06
Ni	% L	0.20	0.13	0.13	0.13
	% P	0.20	0.13	0.13	0.13
Cr	% L	0.20	0.16	0.16	0.16
	% P	0.20	0.15	0.15	0.15
Mo	% L	0.10	0.08	0.08	0.08
	% P	0.10	0.07	0.07	0.07
V	% L	0.08	0.03	0.03	0.03
	% P	0.08	0.03	0.03	0.03
Nb	% L	0.05	0.03	0.03	0.03
	% P	0.05	0.03	0.03	0.03
Ti	% L	0.020	0.010	0.010	0.010
	% P	0.020	0.009	0.008	0.008
B	% L	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001
	% P	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001
T.A1%	% L	0.015	0.050	0.027	0.027
	% P	0.015	0.050	0.025	0.025
N	% L	0.009	0.004	0.004	0.004
	% P	0.009	0.004	0.004	0.004
Ca	% L	0.004	0.002	0.002	0.002
	% P	0.004	0.002	0.002	0.002
Nb+V	% L	0.14	0.07	0.07	0.07
	% P	0.14	0.07	0.07	0.07
+Ti	% L	0.40	0.35	0.35	0.35
	% P	0.40	0.34	0.34	0.34
3D	% L	2	17	17	17
	% P	2	16	16	16
4D	% L	0.20	0.12	0.12	0.12
	% P	0.20	0.12	0.12	0.12
Pcm	% L		0.30	0.30	0.30
	% P		0.30	0.30	0.30
Ceq	% L		0.30	0.30	0.30
	% P		0.35	0.30	0.30

Proses penyetulan sambungan pipa menggunakan *internal clamp* seperti pada Gambar 4 dan *internal clamp* tersebut dilepas setelah pengelasan kedua (*hot pass*) selesai dilakukan.



Gambar 3. Desain dan dimensi sambungan las



Gambar 4. Internal clamp

Sebelum dilakukan proses pengelasan material pipa dilakukan pemanasan awal minimum 100 °C dengan menggunakan nyala api gas LPG seperti pada Gambar 5. Sedangkan untuk menjaga temperatur disetiap lapisan berikutnya temperatur dijaga dengan melakukan pemanasan antar lapisan (*interpass temperature*) maksimum 300 °C dan setelah proses pengelasan selesai dilakukan pemanasan pasca las pada temperatur maksimum 300 °C dan dilakukan pendinginan dengan media air.



Gambar 5. Pemanasan awal

Pengujian tidak merusak dilakukan setelah 24 jam setelah proses pengelasan selesai seperti pada Gambar 6, yaitu

pengujian visual, pengujian ultrasonik, pengujian maknetik partikel dan pengujian radiografi. Setelah hasil pengelasan lulus uji tidak merusak dilanjutkan pengujian merusak.



Gambar 6. Hasil percobaan pengelasan

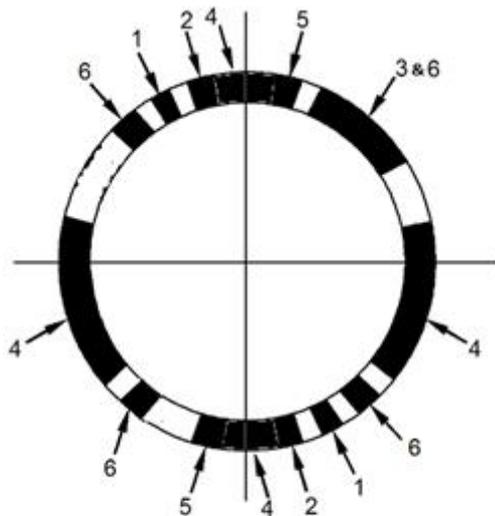
Prosedur pengujian dan pengambilan sampel uji sesuai dengan standar Det Norske Veritas AS, *DNV-OS-F101 2012, Submarine Pipeline Systems*. Setelah pengelasan selesai dilakukan, pengujian tidak merusak dilakukan setelah 24 jam sejak spesimen uji selesai dilas. Pengujian tidak merusak dimulai dengan pengujian visual, pengujian maknetik partikel dan pengujian ultrasonik kemudian diteruskan dengan pengujian radiografi, setelah hasil uji lulus pengujian tidak merusak dilanjutkan dengan pengujian merusak. Adapun jenis dan posisi pengambilan sampel uji merusak seperti terlihat pada Gambar 7. Jumlah spesimen uji dan jenis pengujian untuk setiap spesimen sesuai dengan standar seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis dan jumlah spesimen uji yang dilakukan

No	Jenis Uji	Jumlah Spesimen	keterangan
1	Uji tarik penampang lasan	2 buah	
2	Uji tarik logam las	2 buah	
3	Uji tekuk	8 buah	4 tekuk muka las 4 tekuk akar las
4	Uji impak	14 posisi	Temperatur uji -10 °C Setiap posisi 3 spesimen uji
5	Uji makro	2 buah	
6	Uji kekerasan	2 buah	Titik uji sesuai dengan Gambar 7

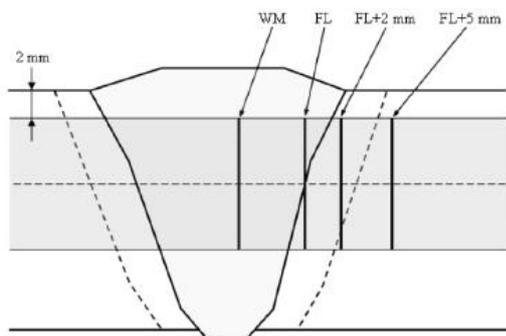
Khusus untuk pengujian impak menggunakan metoda Charpy dilakukan pada temperatur pengujian -10 °C dan

pengambilan spesimen uji dilakukan pada daerah logam las, daerah pengaruh panas (heat affected zone, HAZ), daerah HAZ ditambah 2 mm dan daerah HAZ ditambah 5 mm ke arah logam induk seperti pada Gambar 8 dan setiap titik uji dibuat spesimen uji sebanyak 3 buah dan dilakukan pada sisi kiri dan kanan logam lasan.



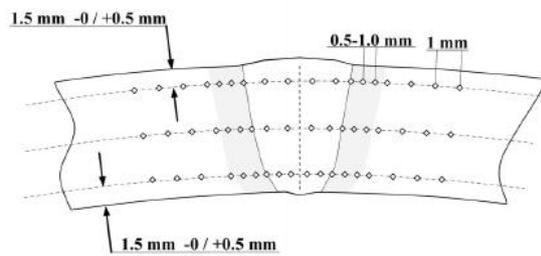
1. Spesimen uji tarik penampang lasan
2. Spesimen uji tarik logam las
3. Spesimen uji tekuk
4. Spesimen uji impak
5. Spesimen uji makro dan uji kekerasan
6. Spesimen uji nick-break

Gambar 7. Posis pengambilan sampel uji



Gambar 8. Posis pengambilan sampel uji impak

Selanjutnya untuk pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen uji seperti pada Gambar 9 dengan menggunakan metoda uji kekerasan Vickers.



Gambar 9. Posis pengambilan titik uji kekerasan

Pengujian *Nickbreak* dilakukan pada logam las dengan acuan standar API 1104, *Welding of Pipelines and Related Facilities*, 2010.

HASIL DAN PEMBAHASAN

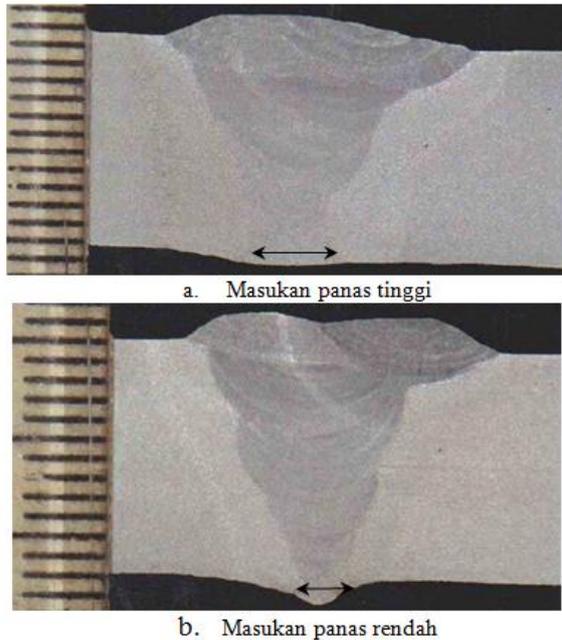
Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, spesimen hasil pengelasan dilakukan pengujian tidak merusak minimum 24 jam setelah proses pengelasan selesai. Spesimen tersebut lulus dari semua pengujian visual, maknetik partikel, ultrasonik dan radiografi. Kemudian spesimen hasil pengelasan dilanjutkan dengan pengujian merusak.

Dari hasil pengujian makro dengan pembesaran 10 kali menunjukkan sambungan logam las berfusi dengan baik dan tidak menunjukkan adanya cacat baik di logam las, daerah terpengaruh panas maupun di logam induknya. Hasil uji makro baik yang masukan panas rendah maupun masukan panas tinggi tidak menunjukkan adanya cacat pada sambungan lasan seperti terlihat pada Gambar 10 struktur makro logam lasan.

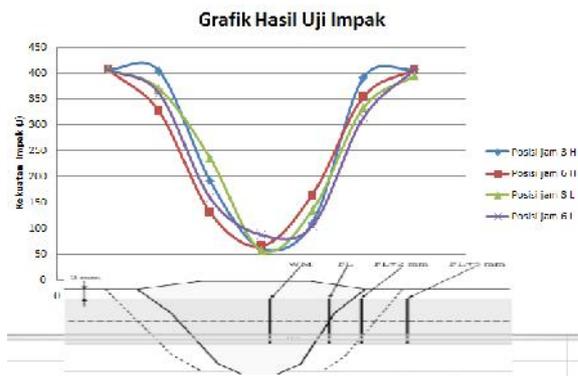
Pada masukan panas yang tinggi lebar daerah fusi atau logam las sedikit lebih besar dibandingkan dengan yang masukan panasnya rendah hal ini disebabkan oleh panas yang diterima logam las lebih tinggi sehingga daerah yang mencair semakin lebar.

Dari data hasil uji impak sedikit sekali perbedaan nilai impak antara spesimen yang menggunakan masukan panas tinggi dengan masukan panas rendah baik pada posisi jam 3 maupun pada posisi jam 6 seperti terlihat pada Gambar 11, tetapi nilai impak pada logam las lebih rendah dibandingkan dengan daerah terpengaruh panas dan logam induk hal ini disebabkan

karena struktur logam lasan lebih kasar dan terjadinya pertumbuhan butir yang menyebabkan turunnya nilai impak pada daerah tersebut. Secara keseluruhan nilai impak pada hasil pengelasan material ini masih masuk dan memenuhi syarat yang ditetapkan oleh standar yaitu minimum kekerasan individu 35 Joule dan kekerasan rata-rata minimum 42 Joule pada setiap titik uji.



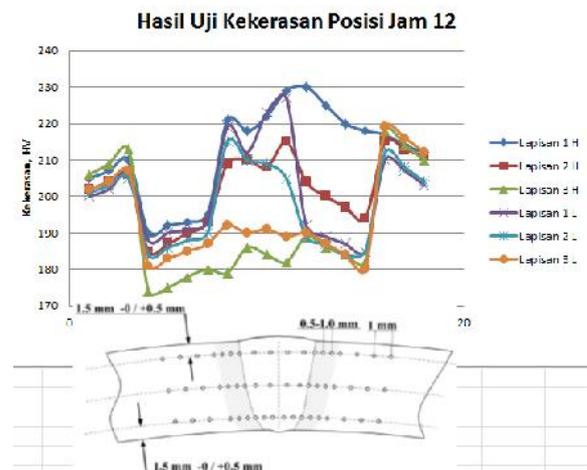
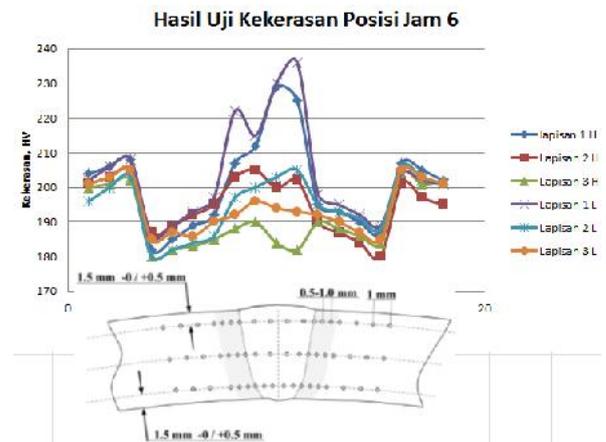
Gambar 10 . Struktur makro logam lasan



Gambar 11 . Hasil uji impak logam lasan

Distribusi hasil uji kekerasan pada material yang masukan panas tinggi dengan material yang masukan panas rendah baik pada posisi jam 6 maupun jam 12 memiliki nilai kekerasan terendah pada daerah terpengaruh panas, sedangkan pada daerah sedikit lebih tinggi dibandingkan daerah terpengaruh panas hal ini disebabkan adanya pengaruh dari logam

pengisi yang digunakan dalam pengelasan yang sifat mekaniknya lebih tinggi dibandingkan dengan logam induk dan secara keseluruhan daerah logam lasan dan daerah terpengaruh panas masih memenuhi persyaratan standar kekerasan yaitu kekerasan maksimum di daerah akar lasan dan daerah tengah seperti terlihat pada Gambar 12 maksimum 250 HV dan kekerasan bagian atas logam las maksimum 275 HV dan semua hasil uji kekerasan baik yang masukan panas tinggi maupun rendah memenuhi persyaratan standar yaitu di bawah 250 HV untuk daerah akar las dan bagian tengah las dan di bawah 275 HV untuk kekerasan untuk bagian atas logam las.



Gambar 12 . Distribusi hasil uji kekerasan logam las

Sedangkan data hasil pengujian tarik seperti pada Tabel 4, menunjukkan hasil uji tarik sambungan lasan baik yang masukan panas rendah maupun tinggi masih memenuhi persyaratan yang mana hasil uji

tarik sambungan las lebih besar dari kuat tarik logam induknya yaitu 520 N/mm². Sedangkang untuk uji tarik logam las kekuatan luluh terendah hasil uji sebesar 496 N/mm² di atas kekuatan luluh logam induk 412 N/mm² ditambah 80 N/mm² (492 N/mm²). Untuk perpanjangan minimum perpanjangan hasil uji tidak kurang dari 18 % baik yang masukan panas rendah maupun masukan panas tinggi.

Tabel 4. Hasil uji kekuatan tarik

No.	Uraian	Spesimen Uji				Keterangan
		Masukan panas rendah		Masukan panas tinggi		
		1	2	1	2	
Spesimen uji logam las						
1	Kekuatan luluh, kN	10.29	10.19	10.11	9.74	
2	Tegangan luluh, N/mm ²	520	511	513	496	Min. 492
3	Tegangan tarik, N/mm ²	651	652	639	646	Min. 520
4	Perpanjangan, %	23	22	24	21	Min. 18 %
5	Reduksi penampang, %	62	39	68	49	
Spesimen uji kekuatan sambungan las						
1	Tegangan tarik, N/mm ²	581	574	582	586	Min. 520

Dari hasil pengujian tekuk dan *nick break* hasil pengelasan baik masukan panas rendah maupun tinggi memenuhi persyaratan dan memenuhi standar yang dipersyaratkan, hasil uji dapat dilihat pada Gambar 13.

Dari Gambar 13 di atas hasil uji tekuk tidak menunjukkan adanya cacat terbuka yang melebihi 3 mm sehingga hasil uji tekuk logam lasan memenuhi standar yang dipersyaratkan sedangkan hasil uji *nick break* juga tidak menunjukkan adanya gas yang terjebak yang melebihi 1,6 mm dan inklusi terak yang melebihi 3 mm sehingga hasil uji *nick break* ini memenuhi persyaratan standar.

Dari beberapa hasil pengujian di atas material API 5L X60 memiliki mampu las yang baik pada masukan panas rendah dan masukan panas tinggi sehingga dapat dibuatkan prosedur pengelasan yang dapat digunakan sebagai acuan dalam proses penyambungan pipa tersebut dilapangan sesuai dengan acuan standar DNV-OS-F101, Submarine Pipe line Systems, August 2010.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa masukan panas yang tinggi akan mempengaruhi besarnya dilusi logam las sehingga daerah difusi logam las akan lebih lebar dibandingkan dengan masukan panas rendah. Ketangguhan material API 5L X60 masih memenuhi persyaratan baik pada masukan panas rendah maupun masukan panas tinggi hal ini ditunjukkan dengan nilai dampak pada temperatur -10 °C masih di atas 35 Joule dan distribusi kekerasan pada material ini masih memenuhi persyaratan yaitu masih di bawah 250 HV di daerah akar las dan 275 HV di daerah permukaan logam las. Keuletan material ini masih memenuhi persyaratan baik pada masukan panas tinggi maupun masukan panas rendah seperti yang ditunjukkan dari hasil uji tekuk dan *nick break*. Kekuatan tarik sambungan las dan kekuatan tarik logam las memenuhi persyaratan baik yang masukan panas rendah maupun masukan panas tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material API 5L X60 memiliki ketangguhan dan mampu las yang baik pada masukan panas rendah maupun tinggi.

1. Uji tekuk				
Sampel uji	Tipe tekuk	Observasi	Hasil	
FB1	Tekuk muka	Diskontinuitas terbuka 1.63 mm	Diterima	
FB2	Tekuk muka	Diskontinuitas terbuka 0.92 mm	Diterima	
FB3	Tekuk muka	Diskontinuitas terbuka 1.43 mm	Diterima	
FB4	Tekuk muka	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
RB1	Tekuk akar	Diskontinuitas terbuka 0.62 mm	Diterima	
RB2	Tekuk akar	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
RB3	Tekuk akar	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
RB4	Tekuk akar	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
2. Uji Nick Break (Spesimen Transversal)				
Sampel uji	Diskontinuitas/cacat	Dimensi Diskontinuitas/Cacat		Hasil
		Dalam, mm	Panjang, mm	
NB1	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima
NB2	Diskontinuitas	0.87	0.51	Diterima
NB3	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima
NB4	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima

a. Masukan panas rendah

1. Uji tekuk				
Sampel uji	Tipe tekuk	Observasi	Hasil	
FB1	Tekuk muka	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
FB2	Tekuk muka	Diskontinuitas terbuka 0.81 mm	Diterima	
FB3	Tekuk muka	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
FB4	Tekuk muka	Diskontinuitas terbuka 1.85 mm	Diterima	
RB1	Tekuk akar	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
RB2	Tekuk akar	Diskontinuitas terbuka 0.23 mm	Diterima	
RB3	Tekuk akar	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
RB4	Tekuk akar	Tidak ada diskontinuitas terbuka	Diterima	
2. Uji Nick Break (Spesimen Transversal)				
Sampel uji	Diskontinuitas/cacat	Dimensi Diskontinuitas/Cacat		Hasil
		Dalam, mm	Panjang, mm	
NB1	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima
NB2	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima
NB3	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima
NB4	Tidak ada diskontinuitas	Nol	Nol	Diterima

b. Masukan panas tinggi

Gambar 13 . Hasil uji tekuk dan *nick break*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Leonardo Sipangkar (Welding Engineer MCL), PT. Rekaya Industri dan PT. Hafar Daya Konstruksi beserta stafnya yang telah memberikan dan menyediakan fasilitas percobaan dan sumbangan pikiran dalam penyusunan materi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- API 1104, 2010, Welding of Pipe Lines and Related Facilities.
- ASM Handbook Volume 1, 2005, *Properties and Selection: Irons, Steels and High Performances Alloy*.
- ASM Handbook Volume 6, 1993, Welding, Brazing and Soldering.
- AWS Welding Handbook Volume 1, 2010, "Welding Science and Technology", Ninth Edition.
- AWS Welding Handbook Volume 2, 2010, "Part 1: Welding Processes", Ninth Edition.
- AWS Welding Handbook Volume 4, 2010, "Material and Applications Part 1", Ninth Edition.
- DNV-OS-F101, August 2012, Submarine Pipeline Systems, .
- Khan, Ibrahim Md., 2007, "Welding Science and Technology", New Age Internasional Publisher, New Delhi, pp 105-106, 108, 180-183.

