

OPTIMALISASI HEAT INPUT PENGELASAN GMAW BAJA A36 MELALUI PEMERIKSAAN HASIL LAS

Heri Wibowo^{1,2}, M.Noer Ilman¹, PriyoTri Iswanto¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri - Universitas Gadjah Mada

²Staf Pengajar - Jurusan PT. Mesin - Universitas Negeri Yogyakarta

Keywords :

*Heat input
Dye penetrant,
Radiographic*

Abstract :

Welding inspection performed on post-weld construction aims to guarantee the quality of the weld. Inspection with NDT (non destructive test) is used to determine the damages / defects on the surface and on the inside of the weld. This research aims to optimize the heat input welding through NDT testing, so getting information the quality of the weld intactly. Optimization of heat input welding is done by changing the welding speed of the welding process with constant voltage and current so getting heat input of 678 J / mm to 1001 J / mm. NDT testing is conducted by visual observation, dye penetrant testing and radiographic test. The results showed that high heat input (1001 J / mm) tend to make the weld bead becomes concave, and low heat input (678 J / mm) tend to make less penetration. NDT test results conclude that heat input welding of 936 J / mm, 846 J / mm and 756 J / mm meet the acceptance criteria of the standard AWS-D1.1.

PENDAHULUAN

Teknik Pengelasan digunakan secara intensif pada berbagai industri manufaktur, seperti : otomotif, perkapalan, pesawat terbang, kereta api, konstruksi jembatan, bejana tekan, dan sebagainya. Teknik pengelasan memiliki berbagai keuntungan untuk produksi seperti hemat biaya, akurasi ukuran, dan variasi bentuk struktur las. Disamping keuntungan tersebut, teknik pengelasan menimbulkan efek yang merugikan, diantaranya : kekuatan dan ketangguhan bahan menurun serta didapatkan ketidak sempurnaan las seperti retak, cacat, porosity yang menyebabkan turunnya kualitas sambungan las.

Faktor yang mempengaruhi kualitas las dimulai dari perencanaan las, persiapan pengelasan, dan prosedur saat pengelasan. Perencanaan las salah satunya adalah pengaturan *heat input* dapat dilakukan dengan mengatur arus, voltase atau mengatur kecepatan pengelasan [1]. *Heat input* yang tinggi akan menyebabkan terjadinya perubahan tampilan pada manik las serta kemampuan penetrasi las. Hal ini dikarenakan *heat input* yang besar akan menyebabkan energi pencairan logam semakin besar dan berakibat volume las dan penetrasi las semakin besar juga [2].

Inspeksi pengelasan dilakukan pada konstruksi pasca pengelasan bertujuan untuk memberikan jaminan kualitas hasil las serta memberi penilaian positif konstruksi agar memenuhi syarat teknis dan ekonomis. Inspeksi las salah satunya dilakukan dengan uji NDT (*non destructive test*) untuk mendeksi adanya retak, slag (terak terjebak), cacat, porosity, dan inklusi hasil pengelasan. Jenis pengujian NDT yang umum

digunakan untuk mengetahui kerusakan/ cacat tersebut baik pada permukaan maupun pada bagian dalam las antara lain : a) uji visual, b) uji penetrasi/ penetrant, c) uji partikel magnet, d) uji putaran arus listrik atau dikenal uji arus Eddy, e) uji radiografi, dan f) uji ultrasonik.

Pengujian NDT dengan radiografi dilakukan oleh Soembogo [3] pada las Manhole Bejana tekan. Levesque [4] melakukan pengujian NDT memakai teknik ultrasonic dipadukan dengan laser untuk mendeteksi cacat plat baja tebal. Demikian juga pemakaian camera stereo vision untuk deteksi visual 3D juga dikembangkan oleh Bracun [5] untuk mengukur secara visual bagian-bagian pada las, sehingga pengukuran yang cepat dan akurat dapat dilaksanakan.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Wibowo [6] menyatakan bahwa *heat input* paling optimal pada pengelasan baja A36 tebal 4 mm berdasarkan tingkat distorsi dan kekuatan mekanis las adalah 756 J/mm. Pada penelitian ini akan difokuskan pada pembahasan optimalisasi heat input melalui pemeriksaan NDT hasil pengelasan, sehingga mendapatkan informasi utuh kualitas hasil las.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

Penelitian ini menggunakan plat baja A36 dengan ketebalan 4 mm sebagai logam induk (*base metal*) dan elektroda jenis ER70S-6 diameter 0,8 mm digunakan sebagai filler dalam proses pengelasan. Komposisi kimia baja A36 dan elektroda ER70S-6 ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia bahan baja karbon rendah A36 [7] dan elektroda ER70S-6 [8].

Komposisi	C (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cu (%)	Mn (%)
Bahan						
Baja karbon rendah A36	max 0,25	max 0,04	max 0,05	max 0,4	max 0,2	-
Elektroda ER70S-6	0,10	0,11	0,12	0,88	0,24	1,56

Sumber Panas Las

Masukan panas atau *heat input* (HI) pada las busur listrik berhubungan langsung dengan tegangan, arus dan kecepatan las, yang dinyatakan dengan persamaan :

$$HI = \eta \times \frac{\text{Tegangan las (V)} \times \text{Arus las (I)}}{\text{Kecepatan Las (v)}} \quad (1)$$

dengan :

η = efisiensi panas las

Besaran tegangan busur las (V) dan arus busur las (I) merupakan parameter yang dapat diatur dari mesin las. Sedangkan kecepatan las (v) dapat diatur dari peralatan *welding rig*.

Proses pengelasan

Plat baja A36 dengan dimensi 400 mm x 100 mm x 4 mm disambung menggunakan las GMAW dengan bentuk sambungan tumpul tipe V, dengan memberikan kemiringan 30 derajat pada kedua ujung yang akan dilas dengan *root pass* 1 – 2 mm. Benda kerja dilas dengan las GMAW yang dioperasikan secara otomatis dengan bantuan peralatan *welding rig* seperti ditampilkan pada Gambar 1. Parameter untuk pengelasan GMAW dengan bahan baja karbon tebal 4 mm menggunakan elektroda ER70S-6 diameter elektroda 0,8 mm, *Wire feed* 135 mm/detik, dan debit gas 5 liter/menit ditampilkan pada Tabel 2 [9].

Tabel 2. Parameter pengelasan GMAW

Sampel	Parameter las			Heat Input (J/mm)
	Arus (A)	Voltase (V)	Kecepatan las (mm/dt)	
Las 1	145	23 Volt	3,33	1001
Las 2			3,56	936
Las 3			3,94	846
Las 4			4,41	756
Las 5			4,92	678

Gambar 1. *Welding rig* untuk las GMAW

Penelitian ini memakai 5 variasi *heat input* yaitu; 1001 J/mm, 936 J/mm, 846 J/mm, 756 J/mm dan 678 J/mm. *Heat input* dihitung dengan persamaan 1 dengan tegangan las 23 volt, arus las 145 ampere, efisiensi panas () diasumsikan 100 % dan kecepatan pengelasan (v) divariasi masing-masing 3,33 ; 3,56 ; 3,94 ; 4,41 dan 4,92 mm/detik.

Pengamatan visual las

Pengamatan visual merupakan salah satu metode pemeriksaan penting karena merupakan filter pertama untuk memastikan perlu tidaknya dilakukan uji NDT. Hal penting yang perlu dilakukan pada inspeksi visual sambungan las antara lain;

- Tampak las pada manik, manik yang tidak menarik memberikan keraguan pada mutu las.
- Tembusan penetrasi las, kepastian tembusan las sangat penting.
- Cacat permukaan, bisa dideteksi secara visual namun lebih jelas dan teliti bisa diperiksa dengan serbuk magnet dan zat penembus (dye penetrant).
- Perlakuan las, pembersihan terak dan percikan atau perlakuan lainnya harus dapat dipastikan dengan pengamatan visual las.
- Acceptance criteria sebagai acuan menentukan kelulusan inspeksi visual dan NDT harus memenuhi semua item kriteria inspeksi yang disyaratkan AWS-D1.1. [10].

Uji Dye penetrant

Cairan penembus yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis penetrant merah. Cairan penetrant merah dapat dilakukan di bawah cahaya putih, sementara cairan penetrant hijau (neon) harus dilakukan dengan menggunakan sinar ultraviolet di daerah gelap.

Tahapan pengujian dye penetrant adalah sebagai berikut ;

1. Pembersihan awal dengan cairan *cleaner*.
2. Penyemprotan cairan penetrant, harus "didiamkan" beberapa saat pada permukaan benda kerja agar mengisi setiap cacat.
3. Menghilangkan cairan penetrant dipermukaan dengan cairan *cleaner*
4. Menggunakan cairan *developer* (putih). Sebelum menerapkan cairan developer, komponen harus benar-benar kering. Pengeringan biasanya dilakukan dalam oven sirkulasi udara panas.
5. Inspeksi permukaan benda kerja. Hasil inspeksi perlu didokumentasikan pada formulir laporan inspeksi atau catatan lain. Hal ini dapat didukung dengan gambar atau foto indikasi, dll.

Pengujian Radiografi

Dengan metode pengujian radiografi, kerusakan tiga dimensi pada suatu spesimen las, misalnya lubang cacing dan pemasukan terak, dapat divisualisasikan seperti rongga-rongga kecil. Spesimen tersebut pada satu sisi terkena sinar radiasi, dan sisi belakangnya ditempelkan selebar film untuk mengambil foto hasil sinar X.

Jumlah radiasi yang diteruskan dan sampai ke film pada titik yang berbeda, akan menyebabkan perbedaan tingkat gelap-terang pada film tersebut. Karena daerah yang terkena masukan sinar X pada daerah las memancarkan radiasi lebih sedikit daripada daerah lainnya, maka daerah tersebut divisualisasikan seperti pola bercak putih film itu.

Pengujian radiografi menggunakan peralatan yang tabung sinar X seperti terlihat pada Gambar 2. Tahapan proses pengujian radiografi pada spesimen las adalah sebagai berikut;

1. Mengukur ketebalan plat spesimen las.
2. Memverifikasi tebal plat pada tabel Iqi Selection ASME untuk menentukan nomor kawat penetrometer yang digunakan saat pengujian
3. Menentukan kV (voltase) yang akan digunakan pada sinar X berdasarkan tabel dan perhitungan
4. Menentukan lamanya waktu penyinaran berdasarkan grafik uji
5. Menentukan SFD (jarak sumber sinar X dengan spesimen uji (berdasarkan tabel dan perhitungan)
6. Meletakkan film dibawa spesimen uji
7. Mengatur parameter voltase dan lama penyinaran pada control unit
8. Melakukan penyinaran dengan sinar X
9. Mematikan mesin melalui control unit dan mengolah film.



Gambar 2. Peralatan uji radiografi pada spesimen las.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan Visual Las

Pengamatan visual las dilakukan pada permukaan atas untuk memperlihatkan bentuk manik, permukaan bawah las untuk memperlihatkan penetrasi, dan penampang melintang las untuk memperlihatkan bentuk kampuh las. Pengamatan dilakukan dengan bantuan kamera sehingga dapat didokumentasikan. Hasil pengamatan visual las dengan variasi *heat input* 1001 J/mm, 936 J/mm, 846 J/mm, 756 J/mm dan 678 J/mm masing-masing ditunjukkan oleh gambar 3, 4, 5, 6 dan 7.

Berdasarkan hasil visual las permukaan atas, bawah dan melintang pada Gambar 3 diperlihatkan bahwa pada *heat input* tinggi yaitu 1001 J/mm hasil manik las cenderung cekung, namun pada visual permukaan bawah terlihat penetrasi las yang terjadi berlebihan. Namun demikian, Gambar 5 yang memperlihatkan visual las pada *heat input* rendah yaitu 678 J/mm menampilkan permukaan manik yang cembung, namun permukaan bawah terlihat penetrasi yang kurang (*lack of penetration*). Fenomena ini sesuai dengan referensi bahwa semakin besar *heat input* penetrasi las semakin besar dan semakin kecil *heat input* akan mengurangi tingkat penetrasi las.

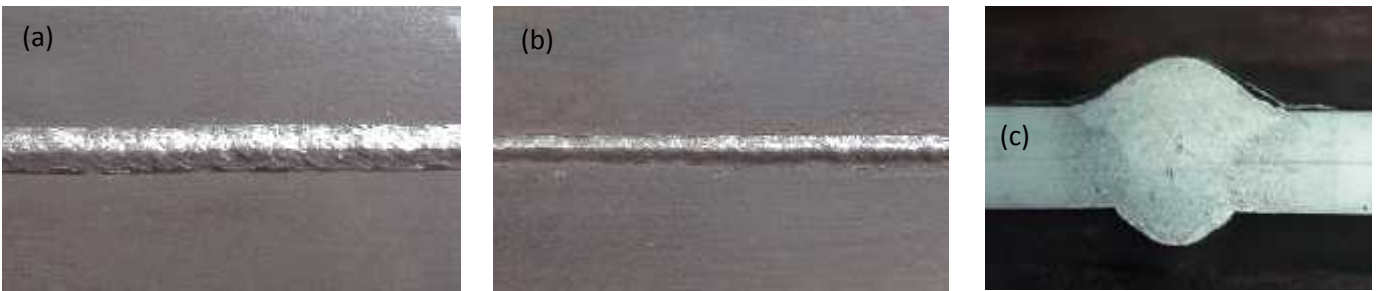
Gambar 4, 5 dan 6 dengan *heat input* menengah yaitu 936 J/mm, 846 J/mm dan 756 J/mm memperlihatkan permukaan manik yang cembung dan sekaligus penetrasi yang penuh. Dengan demikian secara pengamatan visual las, *heat input* 936 J/mm, 846 J/mm dan 756 J/mm sudah memenuhi standar visual las.



Gambar 3. Pengamatan visual hasil pengelasan pada Heat input 1001 J/mm dengan : (a) tampilan cover pass, (b) tampilan root pass, (c) tampilan melintang.



Gambar 4. Pengamatan visual hasil pengelasan pada Heat input 936 J/mm dengan : (a) tampilan cover pass, (b) tampilan root pass, (c) tampilan melintang.



Gambar 5. Pengamatan visual hasil pengelasan pada Heat input 846 J/mm dengan : (a) tampilan cover pass, (b) tampilan root pass, (c) tampilan melintang.



Gambar 6. Pengamatan visual hasil pengelasan pada Heat input 756 J/mm dengan : (a) tampilan cover pass, (b) tampilan root pass, (c) tampilan melintang.



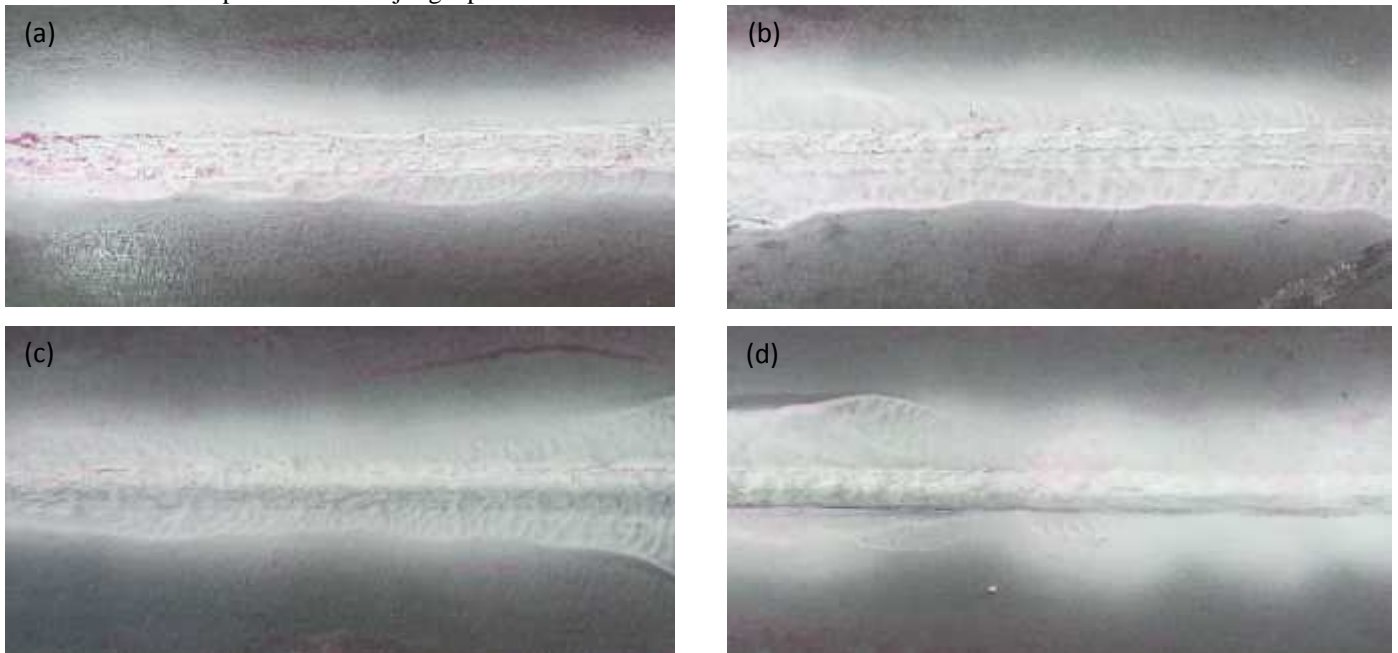
Gambar 7. Pengamatan visual hasil pengelasan pada Heat input 678 J/mm dengan : (a) tampilan cover pass, (b) tampilan root pass, (c) tampilan melintang.

Hasil Uji Dye Penetrant

Uji dye penetrant dilakukan pada permukaan atas spesimen uji las untuk mengetahui cacat atau retak permukaan pada spesimen uji las dengan *heat input* 1001 J/mm, 936 J/mm, 846 J/mm, 756 J/mm dan 678 J/mm. Hasil pengujian dye penetrant ditampilkan pada gambar 8.

Berdasarkan hasil pengujian dye penetrant diketahui spesimen las pada heat input 1001 J/mm dideteksi terdapat retak diujung permukaan las

(Gambar 8.a). Sedangkan pada spesimen las dengan heat input 936 J/mm, 846 J/mm, 756 J/mm dan 678 J/mm tidak terdeteksi retak maupun cacat las. Dengan demikian, *heat input* yang tinggi cenderung menyebabkan terjadinya retak las. Hal ini dikarenakan pembebasan tegangan saat pembekuan logam menjadi tinggi. Berdasarkan letak retak yang ada di kaki las maka retak ini tergolong retak bebas tegang (Wirjosumarto, dkk, 2000)



Gambar 8. Hasil uji dye penetrant pada spesimen las dengan heat input : (a) 1001 J/mm, (b) 936 J/mm, (c) 846 J/mm, dan (d) 756 J/mm

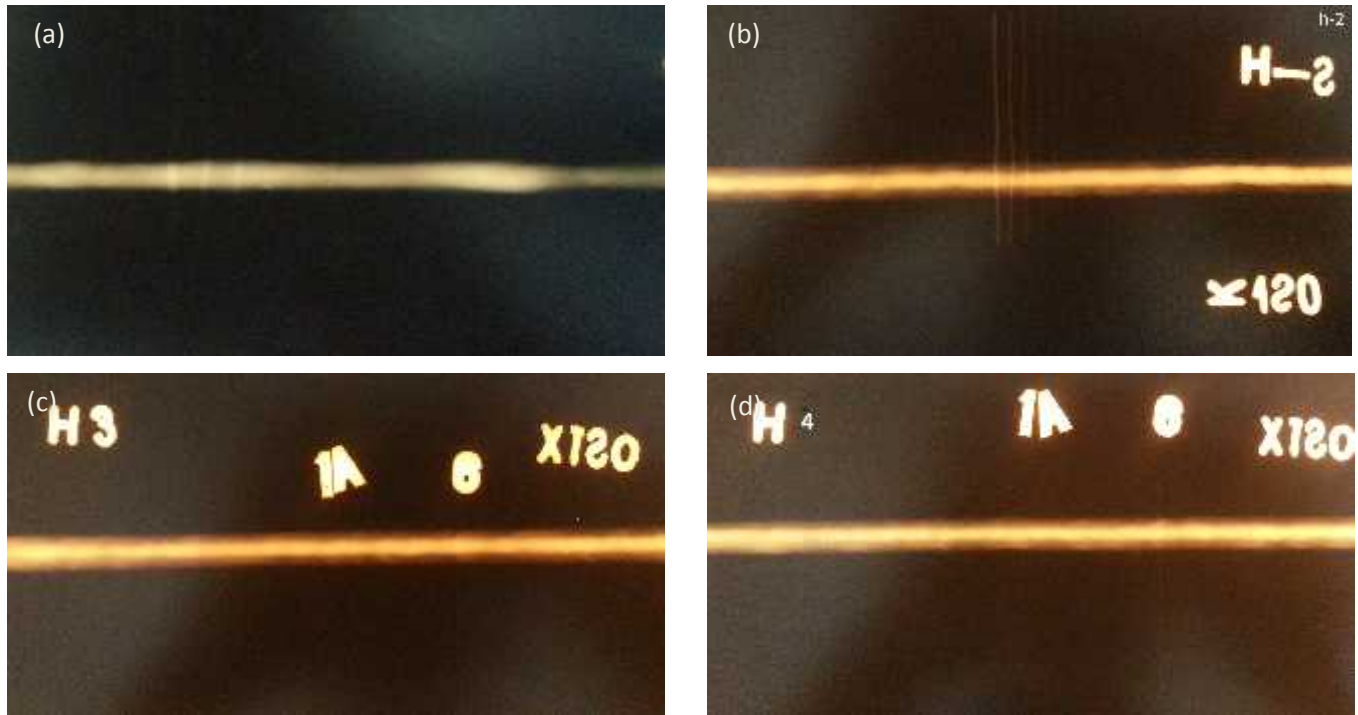
Hasil Uji Radiografi

Uji radiografi dilakukan pada spesimen las untuk melihat cacat atau retak yang ada didalam las. Dengan memakai sinar X yang mampu menembus baja, bagian dalam las dapat terlihat secara keseluruhan dengan tampilan gelap terang pada film. Parameter yang dipakai untuk menghasilkan sinar X yang cocok

dengan material uji baja karbon tebal 4 mm adalah : kawat penetrameter memakai nomor 6 ; energy 120 kV ; intensitas X-ray 5 mA ; exposure time 50 detik ; dan jarak focus SFD 50 cm. Hasil pengujian radiografi pada spesimen las dengan *heat input* 1001 J/mm, 936 J/mm, 846 J/mm, dan 756 J/mm ditunjukkan oleh gambar 9.

Berdasarkan gambar 9 (a) terlihat bahwa tampilan bagian terang pada foto radiografi yang mempresentasikan daerah logam las terlihat tidak stabil tingkat terangnya maupun tingkat lebarnya. Hal ini mengindikasikan bahwa penetrasi pada *heat input* 1001 J/mm kurang kontinue dan *over penetrant* di beberapa daerah tertentu. Bila dibandingkan dengan hasil pengamatan visual, *over penetrant* terjadi di seluruh permukaan bawah las namun tidak kontinue penetrasinya.

Selanjutnya Gambar 9 (b), 9(c) dan 9 (d) memperlihatkan bagian terang pada foto radiografi yang lebih stabil dan merata pada setiap daerah pengelasan. Hal ini menunjukkan bahwa lebar manik las dan lebar penetrasi pada logam las stabil dan merata baik ukuran maupun bentuknya. Pada ketiga gambar tersebut tidak terlihat adanya cacat atau retak las. Hal ini mengindikasikan bahwa pengelasan dengan *heat input* 936 J/mm, 846 J/mm dan 756 J/mm sudah memenuhi persyaratan bebas cacat dan bebas retak



Gambar 9. Hasil uji radiografi pada spesimen las dengan heat input : (a) 1001 J/mm, (b) 936 J/mm, (c) 846 J/mm, dan (d) 756 J/mm.

Tabel 3. Hasil inspeksi visual dan NDT pada spesimen las

No	Macam inspeksi	Standar AWS-D1.1	Check list kelolosan pada spesimen				
			1001 J/mm	936 J/mm	846 J/mm	756 J/mm	678 J/mm
1	Retak dalam las	Tidak diijinkan ada retak	-				o
2	Penetrasi	Tidak diijinkan incomplete penetration	-				-
3	Fusion	Tidak diijinkan lack of fusion					
4	Cacat/ porosity	Tidak diijinkan ada cacat					o
5	Under cut	Diijinkan < 1 mm					
6	Lebar manik	seragam					
7	Bentuk manik	Manik cembung	-				

Keterangan : = lolos, - = tidak lolos, o = tidak dilakukan

Hasil inspeksi visual dan NDT pada spesimen las yang memperlihatkan secara keseluruhan hasil pengamatan dan pengukuran pada spesimen tiap kriteria inspeksi

ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel didapatkan spesimen hasil las dengan kriteria tanpa retak, tanpa lack of penetration, tanpa cacat/ porosity,

tanpa undercut, fusion las baik, manik cembung serta keseragaman lebar manik baik terdapat pada hasil las *heat input* 936 J/mm, 846 J/mm dan 756 J/mm, sehingga hasil las ini memenuhi acceptance criteria standar AWS-D1.1.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan visual spesimen hasil las menyatakan bahwa *heat input* tinggi (1001 J/mm) cenderung menjadikan manik las menjadi cekung, dan *heat input* rendah (678 J/mm) cenderung menjadikan kurang penetrasi.
2. Berdasarkan hasil pengujian dye penetrant, spesimen hasil las dengan *heat input* 936 J/mm, 846 J/mm, 756 J/mm dan 678 J/mm tidak terdeteksi retak maupun cacat las.
3. Hasil uji radiografi mengindikasikan bahwa pengelasan dengan *heat input* 936 J/mm, 846 J/mm dan 756 J/mm sudah memenuhi persyaratan bebas cacat dan bebas retak.
4. Inspeksi visual dan NDT las menyatakan hasil las dengan *heat input* 936 J/mm, 846 J/mm dan 756 J/mm memenuhi *acceptance criteria* standar AWS-D1.1.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., (2000), *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Michaleris, P., (2011), *Minimization of welding distortion and buckling (Modelling and implementation)*, Woodhead Publishing, Cambridge CB22, UK.
- [3] Soembogo, D., (2014), *Radiografi pada Las Manhole Bejana Tekan*, Majalah Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, Beta Gamma vol 5, Jakarta.
- [4] Levesque, D., Azaumi, Y., Lord, M., Bescond, C., Hatanaka, H., Tagami, M.J., Monchalin, P., (2016), *Inspection of thick welded joints using laser-ultrasonic SAFT*, Ultrasonic Journal, Elsevier.
- [5] Bracun, D., Sluga, A., (2015), *Stereo vision based measuring system for online welding part inspection*, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier B.V.
- [6] Wibowo.H., Iman, M.N., Iswanto, P.T., (2015), *Analisis heat input pengelasan terhadap distorsi, struktur mikro dan kekuatan mekanis baja A36*, Jurnal Rekayasa Mesin, UB.
- [7] American Society for Testing and Materials, 1999, *ASTM A36 : Standard specification for Carbon Steel*, Wahington D.C, USA.
- [8] Cobe Steel (1991), *Cobelco Welding Handbook*, Cobelco welding of America Inc, USA.
- [9] Miller Electric (2012), *Guidelines For Gas Metal Arc Welding (GMAW)*, Tool Work Company, Appleton, USA.
- [10] American Welding Society, 2002, *Struktur Welding Code Steel - AWS D1.1*, An American National Standard, Canada.