

Efek Penggunaan Maksimum dan Minimum *Heat Input* di Perbaikan Pipa Menggunakan Metode *Weld-Deposition* Guna Menghindari Terjadinya *Burn-Through* dan *Hydrogen Cracking*

W. A. Wibawa¹, M. N. Ilman²

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada^{1,2}

e-mail: wira.anom.wibawa@gmail.com

ABSTRACT

Decreasing quality of the pipes damage might influence the business process exploration, production, distribution, and buying and selling of oil and natural gas of a company. One of common method is known cheap and being effectively applied to improve the pipes construction; it is known as weld-deposition. Pipe repair using the weld-deposition method is inseparable from the risk of failure that may occur, namely burn-through and hydrogen cracking. In this study, welding was carried out on API 5L grade B pipes with a diameter of 4 inches and a pipe thickness of 4 mm. Welding is done with a pipe in which there is a flow of water with a flow volume of 5 lpm. The welding parameters used are welding current ranging from 120 A, voltage to 20V, and speed varying from 10 mm/s to 0.5 mm/s which produces heat input ranging from 0.192 kJ/mm to 3.84 kJ/mm. Investigation confirms a microstructure and hardness level. This study resulted in recommendations for welding parameters that need to be avoided in order to avoid burn-through and the risk of hydrogen cracking. In this study, there was no burn-through even though the welding was carried out with a high heat input of 3.84 kJ/mm and the minimum heat input was limited to 0.32 kJ/mm so as not to have the potential for hydrogen cracking to occur.

Kata kunci: API 5L grade B, weld-deposition, burn-through, hydrogen crack, heat input.

ABSTRAK

Penurunan kualitas maupun kerusakan pada pipa akan berdampak pada proses bisnis eksplorasi, produksi, penyaluran, dan jual beli minyak dan gas bumi suatu perusahaan. Salah satu metode yang relatif murah dan dapat digunakan untuk mengembalikan kualitas maupun memperbaiki kerusakan pipa adalah dengan metode *weld-deposition*. Perbaikan pipa menggunakan metode *weld-deposition* tidak terlepas dari adanya risiko kegagalan yang mungkin terjadi yaitu *burn-through* dan *hydrogen cracking*. Pada penelitian ini dilakukan pengelasan pada pipa API 5L grade B dengan diameter 4 inchi dan ketebalan pipa 4 mm. pengelasan dilakukan dengan pipa yang didalamnya terdapat aliran air dengan volume alir 5 lpm. Parameter pengelasan yang digunakan yaitu arus pengelasan berkisar 120 A, voltase 20 V, dan kecepatan divariasikan dari 10 mm/s sampai 0,5 mm/s yang menghasilkan *heat input* berkisar 0,192 kJ/mm sampai 3,84 kJ/mm. Pengamatan dilakukan pada hasil struktur mikro dan nilai kekerasan pada beberapa variasi parameter pengelasan. Penelitian ini menghasilkan rekomendasi parameter pengelasan yang perlu dihindari agar tidak terjadi *burn-through* dan resiko terjadinya *hydrogen cracking*. Pada penelitian ini tidak terjadi *burn-through* meskipun pengelasan dilakukan dengan *heat input* yang tinggi yaitu 3,84 kJ/mm dan *heat input* minimal dibatasi pada 0,32 kJ/mm agar tidak berpotensi terjadi *hydrogen cracking*.

Kata kunci: API 5L grade B, weld-deposition, burn-through, hydrogen crack, heat input.

PENDAHULUAN

Pada pengoperasian bisnis eksplorasi, produksi, penyaluran, dan jual beli minyak dan gas bumi, pipa tidak lepas dari penurunan kualitas maupun kerusakan seiring dengan berjalannya waktu. Penurunan kualitas pada pipa akan berdampak pada proses bisnis suatu perusahaan. Secara umum penurunan kualitas maupun kerusakan pada pipa berakibat pada penurunan ketebalan dinding pipa yang mengakibatkan penurunan kekuatan pipa dalam menahan tekanan fluida yang dialirkan. Penurunan kekuatan pipa tersebut dapat diperbaiki dengan berbagai macam metode yaitu *cut and replace* pada pipa, pemasangan *pipe sleeves* dan *weld-deposition*. Kenggulan dari perbaikan pipa menggunakan metode *weld-deposition* yaitu mengeluarkan biaya yang lebih sedikit dibandingkan perbaikan pipa menggunakan metode *cut and replace* maupun pemasangan *pipe sleeves*. Perbaikan pipa menggunakan metode *weld-deposition* memang mengeluarkan biaya yang lebih sedikit, namun perbaikan pipa menggunakan metode *weld-deposition* tidak terlepas dari adanya risiko kegagalan yang terjadi yaitu *burn-through* dan *hydrogen cracking*.

Pada tulisan ini akan dilakukan pembahasan tentang penentuan *heat input* maksimal yang akan mengakibatkan *burn-through* dan penentuan *heat input* minimal yang akan berpotensi mengakibatkan *hydrogen cracking*. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat menjadi literatur untuk

menentukan parameter-parameter yang perlu dihindari saat melakukan pengelasan pada pipa menggunakan metode *weld-deposition* agar tidak terjadi *burn-through* dan *hydrogen cracking*.

TINJAUAN PUSTAKA

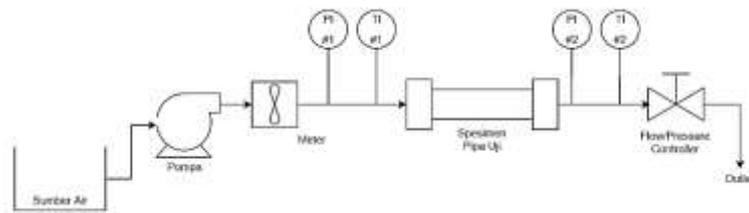
Perbaikan dengan *weld-deposition* dapat mengembalikan kekuatan statis dari pipa dan kekuatan untuk menahan tekanan fluida. Beberapa hal utama yang perlu dipertimbangkan saat melakukan pengelasan pipa yang dialiri fluida adalah pemanasan secara lokal yang dapat mengakibatkan penurunan kekuatan dinding pipa yang akan menyebabkan *burn-through*. Selain dari pemanasan secara lokal, pengaruh kecepatan volume aliran fluida akan mengakibatkan penurunan suhu yang apabila terjadi secara signifikan akan menyebabkan peningkatan kekerasan yang berpotensi menimbulkan *hydrogen cracking* pada *Heat Affected Zone* (HAZ). Semakin tipisnya ketebalan dinding pipa akan mengakibatkan semakin tingginya resiko terjadinya *burn-through* dan kehilangan panas yang lebih cepat yang diakibatkan oleh kecepatan aliran fluida [5]. Risiko *burn-through* dapat terjadi pada pipa dengan ketebalan kurang dari 6,35 mm [3]. Elektroda dengan diameter lebih kecil dapat menurunkan risiko terjadinya *burn-through* pada saat pengelasan. Direkomendasikan menggunakan elektroda berdiameter kurang dari 2,4 mm pada pengelasan pipa dengan ketebalan 3,2 mm [4]. *Burn-through* terjadi di bawah *weld-pool* dan terjadi pada pengelasan *pass* yang pertama [1]. *Displacement* pada bagian bawah *weld-pool* meningkat seiring dengan peningkatan suhu pengelasan. Saat suhu mendekati suhu puncak, deformasi akan berubah menjadi mutasi yang semakin besar dengan semakin besarnya tekanan fluida yang mengalir. Mutasi ini menggambarkan terjadinya *burn-through* pada proses pengelasan [11]. Nilai kekerasan di bawah 350 VHN dinilai memiliki potensi yang rendah untuk terjadi *crack*. Tingkat kekerasan pada HAZ secara umum digunakan sebagai indikator dalam menentukan potensi terjadinya *hydrogen crack* [10]. Studi Fischer dkk. di Battelle Memorial Institute (BMI) valid pada rentang ketebalan 3,2 – 9,6 mm untuk pipa baja sampai dengan X52 [12]. *Heat input* pengelasan pada pipa baja dengan CE 0,3 – 0,5 berpengaruh pada laju pendinginan dan kehilangan panas yang tinggi disebabkan oleh aliran gas dalam pipa yang dipengaruhi oleh tekanan fluida, terutama pada pipa ber dinding tipis. *Crack* akan terjadi apabila $\Delta t_{8/5}$ kurang dari 5 detik dan pada kekerasan >400 VHN. Risiko *crack* cukup rendah pada CE < 0,5 [6] [7] [9]. Variasi *heat input* yang didapatkan dari berbagai kecepatan pengelasan mempengaruhi kekerasan pada HAZ. Pemakaian kuat arus aman pada pengelasan pipa dengan ketebalan lebih dari 3,2 mm dan pada ketebalan pipa kurang dari 4 mm tidak diperbolehkan untuk dilas dengan tekanan gas yang mengalir lebih dari 7 Mpa [8]. Polaritas pengelasan dapat mempengaruhi terjadinya *crack*. *Direct Current Electrode Negative* (DCEN) memberikan faktor yang lebih besar pada area pengelasan yang menurunkan laju pendinginan pada pengelasan [2].

METODE

Metode penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi terjadinya *burn-through* dan timbulnya *hydrogen cracking* sehingga parameter-parameter tersebut dapat dihindari saat akan dilakukan pengelasan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah perancangan konfigurasi spesimen pengujian, pengamatan struktur mikro material pipa, uji tarik material pipa, uji komposisi material pipa, persiapan alat, persiapan bahan, perakitan spesimen uji, penentuan parameter-parameter pengelasan, pengujian pengelasan pada spesimen uji, pengamatan struktur mikro material hasil pengelasan, uji kekerasan hasil pengujian, dan analisa data hasil pengujian.

Persiapan

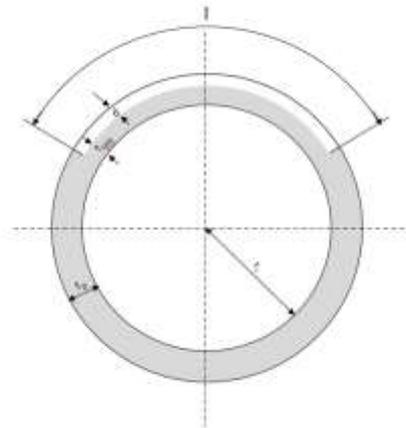
Konfigurasi spesimen pengujian dirancang dari beberapa macam peralatan dan material agar pengujian dapat dilakukan. Konfigurasi spesimen pengujian menggunakan air sebagai fluida yang dipindahkan dari sumber air menuju pipa menggunakan pompa bertekanan dan diatur kecepatan aliran fluidanya menggunakan regulator. Kecepatan aliran fluida akan diatur pada kecepatan 5 liter per menit. Pada pipa akan dipasang indikator tekanan dan indikator suhu untuk mengukur tekanan dan suhu saat dilakukan pengujian. Konfigurasi spesimen pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi spesimen pengujian.

Material pipa yang akan digunakan adalah material pipa API 5L Grade B. Material pipa yang akan digunakan untuk pengujian akan dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa material yang digunakan adalah benar-benar material pipa API 5L Grade B. Pengujian material pipa yang dilakukan adalah uji tarik dan uji komposisi.

Peralatan yang akan digunakan adalah mesin las dengan metode *Flux Core Arc Welding* (FCAW) otomatis yang dimodifikasi dengan alat pengatur kecepatan pengelasan. Peralatan otomatis yang digunakan dimaksudkan untuk mengurangi kesalahan pada parameter-parameter pengelasan. Material pipa yang digunakan akan dilakukan pengkondisian ketebalan pipa yang dibuat melintang dari sumbu pipa dengan arah sirkumferensial. Ketebalan pipa ditentukan dengan tebal 4 mm. Ilustrasi pengkondisian material pipa yang akan dilakukan pengujian pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2 dengan dimensi pada Tabel 1.



Gambar 2. Ilustrasi pengkondisian ketebalan material pipa.

Tabel 1. Dimensi spesimen uji

Parameter	Nilai (mm)
l	± 100
d	2,02
t_{sisia}	4
t_o	6,02
r_i	51,13

Pengelasan dan Uji Kekerasan

Spesimen uji dilakukan pengelasan dengan arah. Kecepatan pengelasan divariasikan disesuaikan dengan kecepatan aliran fluida 5 lpm. Pengujian hasil pengelasan disiapkan dengan memvariasikan kecepatan pengelasan sampai terjadi *burn-through*. Material pipa hasil pengujian diambil sampel pada area pengujian pengelasan untuk pengamatan struktur mikro dan dilakukan uji kekerasan. Parameter-parameter pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter uji

Parameter	Nilai
Metode Pengelasan	<i>Flux Core Arc Welding (FCAW)</i>
Tegangan listrik (volt)	20
Kuat arus listrik (ampere)	120
Kecepatan pengelasan (mm/s)	10
	6
	0,5
Material Induk	API 5L Grade B
	Diameter 4 inchi
Elektroda	E71T-11
	Diameter 0,8 mm
<i>Heat input</i> (kJ/mm)	0,192
$\eta h=80\%$	0,32
	3,84
Laju Alir Fluida (lpm)	5

Uji kekerasan mengklasifikasi spesimen uji hasil pengelasan. Spesimen uji dipotong dengan ukuran panjang pengamatan makro dan struktur mikro. Spesimen uji disiapkan titik samplingnya untuk uji kekerasan Vickers *microhardness* untuk mendapatkan nilai VHN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Tarik dan Uji Komposisi Material Induk

Uji tarik material induk diverifikasi sebelum pengelasan. Material induk dibuat tiga sampel uji S1, S2, S3. Hasil uji tarik sampel uji S1, S2, dan S3 mempunyai kriteria luluh pada beban berturut-turut 26 kN, 26 kN, dan 24,5 kN. Beban memicu hingga patah untuk S1, S2, dan S3 adalah sebesar 37,8 kN, 38,8 kN, dan 35,8 kN. Dengan demikian, nilai kekuatan luluh rata-rata mencapai 339 MPa dan kekuatan patah sebesar 498 Mpa. Gambar 3 menunjukkan perubahan panjang S2 tidak jauh berbeda dengan S1 dan S3. Hal ini mengkonfirmasi perbedaan penyetelan skala alat pada saat pelaksanaan uji tarik logam induk.



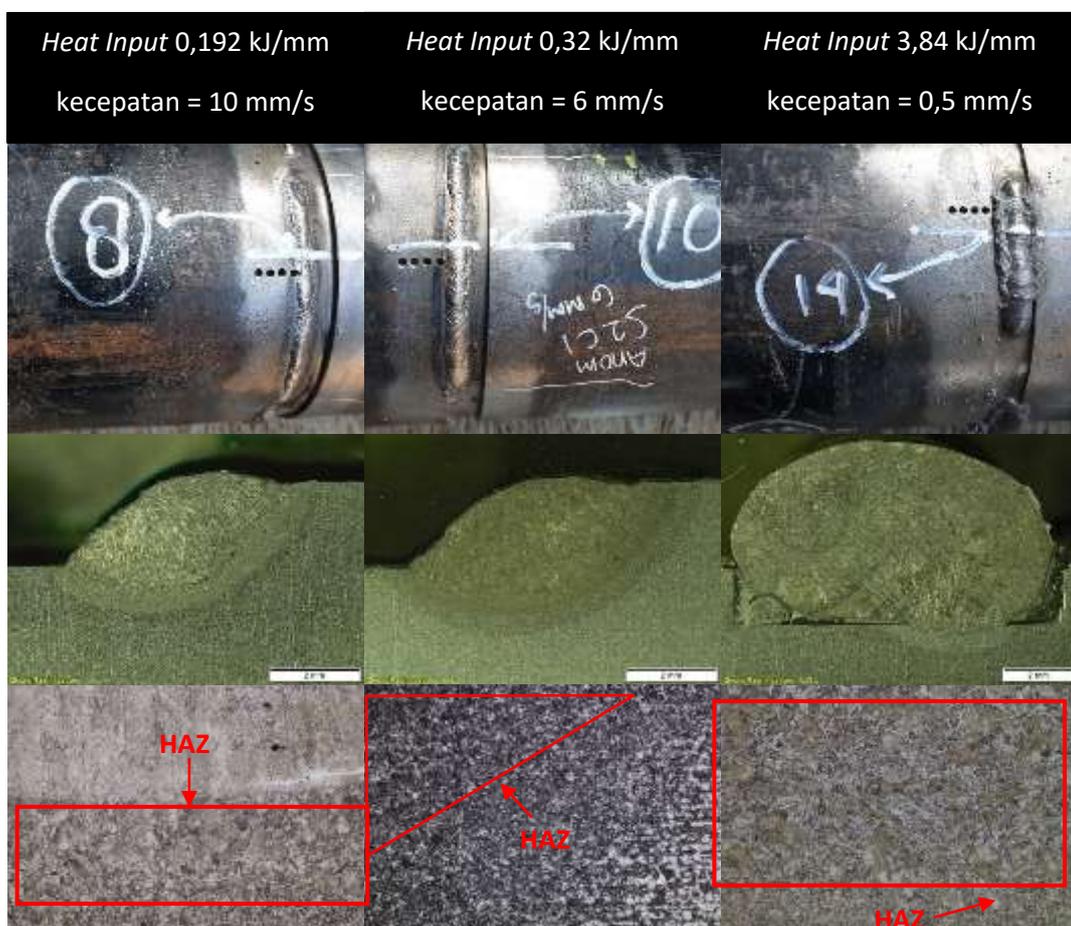
Gambar 3. Sampel Uji Tarik dan Hasil Kurva Tegangan Regangan.

Komposisi kimia diverifikasi dengan analisis spektrometer pada logam material induk mengindikasikan bahwa material pipa tersusun paling banyak oleh logam besi sebesar 98,84% kemudian disusul oleh elemen paduan lain seperti mangan 0,42%, karbon 0,19%, silikon 0,26%, kromium 0,09%, tembaga 0,09%, dan lain sebagainya. Komposisi kimia material induk dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi material induk

Unsur	%	Nilai Referensi *
C	0,1878	Maksimum 0,28%
Si	0,2555	-
Mn	0,4165	Maksimum 1,20%
P	0,0008	Maksimum 0,030%
S	0,0000	Maksimum 0,030%
Cr	0,0859	-
Al	0,0197	-
Sn	0,0039	-
Cu	0,0854	-
Ni	0,0244	-
Mo	0,0409	-
W	0,0011	-
Ti	0,0021	$Nb + V + Ti \leq 0,15\%$
Nb	0,0027	$Nb + V \leq 0,06\%$
V	0,0036	-
Co	0,0054	-
Pb	0,0058	-
Ca	0,0020	-
Zn	0,0092	-
Fe	98,84	-

Struktur Makro dan Struktur Mikro



Gambar 4. Struktur makro dan struktur mikro.

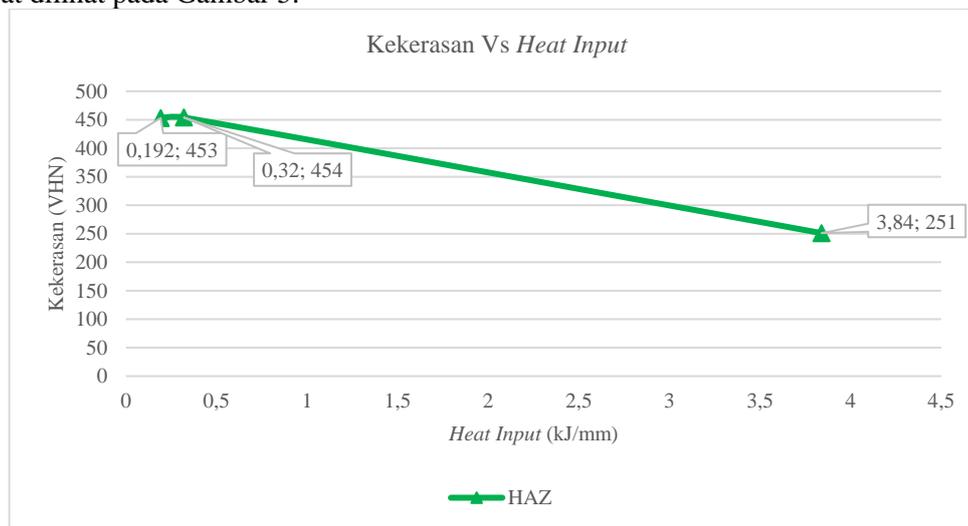
Visual struktur makro dan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4. Visual struktur mikro daerah HAZ pada hasil pengelasan menggunakan *heat input* pengelasan 0,192 kJ/mm, 0,32 kJ/mm, dan 3,84 kJ/mm. Struktur mikro pada HAZ hasil pengelasan dengan *heat input* 0,192 kJ/mm terlihat semakin mendekati logam pengelasan tampak terbentuknya *bainite*. *Bainite* terbentuk pada temperatur puncak jauh di atas temperatur kritis efektif atas yang memungkinkan pertumbuhan butir *austenite*. Laju pendinginan yang tinggi dan ukuran butir yang besar membuat *ferrite* membentuk *bainite*.

Struktur mikro pada HAZ hasil pengelasan dengan *heat input* 0,32 kJ/mm terlihat tidak jauh berbeda dengan struktur mikro hasil pengelasan dengan *heat input* pengelasan 0,192 kJ/mm. Ukuran butir pada struktur mikro dengan pengelasan *heat input* 0,32 kJ/mm terlihat lebih kecil dan sedikit *bainite* dikarenakan kecepatan pendinginan pada material HAZ lebih lambat dibandingkan pendinginan pada material HAZ dengan menggunakan *heat input* pengelasan 0,192 kJ/mm.

Struktur mikro pada HAZ hasil pengelasan dengan *heat input* 3,84 kJ/mm terlihat *ferrite*, *pearlite*, dan asikular ferit. *Ferrite*, *pearlite*, dan asikular ferit terbentuk karena lamanya logam berada pada temperatur puncak dan menyebabkan *austenite*. Laju pendinginan sangat lambat memicu *austenite* berubah menjadi *ferrite*, *pearlite*, dan asikular ferit.

Uji Kekerasan

Klarifikasi uji kekerasan di area HAZ pada *heat input* pengelasan 0,192 kJ/mm, 0,32 kJ/mm, dan 3,84 kJ/mm dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil uji kekerasan.

Hasil uji kekerasan area HAZ pada *heat input* 0,192 kJ/mm dan 0,32 kJ/mm mirip yaitu 453 VHN dan 454 VHN. Nilai kekerasan tersebut diatas nilai kekerasan yang direkomendasikan yaitu 350. Hasil uji kekerasan pada *heat input* 0,192 kJ/mm dan 0,32 kJ/mm memicu terjadinya *hydrogen cracking*. Hasil uji kekerasan pada *heat input* 3,84 kJ/mm adalah 251 VHN. Hasil uji kekerasan tersebut tidak melebihi nilai yang direkomendasikan dan dapat dinyatakan tidak berpotensi untuk terjadi *hydrogen cracking*.

Rekomendasi Heat Input Pengelasan

Hubungan antara *heat input*, kecepatan pengelasan, nilai kekerasan, dan *burn-through* disajikan dalam tabel yang dapat dilihat pada Tabel 4. Pengelasan dengan *heat input* 0,192 kJ/mm dan 0,32 kJ/mm menghasilkan nilai kekerasan diatas 350 VHN sehingga tidak direkomendasikan untuk dilakukan agar tidak terjadi potensi *hydrogen cracking*. Pengelasan dengan *heat input* 3,84 kJ/mm menghasilkan nilai kekerasan dibawah 350 VHN sehingga dapat dikatakan aman karena tidak berpotensi terjadi *hydrogen cracking* [10]. Pengelasan dengan *heat input* 3,84 kJ/mm juga tidak terjadi *burn-through* meskipun kecepatan pengelasannya sangat rendah. Parameter pengelasan yang direkomendasikan dari hasil penelitian ini adalah dengan *heat input* lebih tinggi dari 0,32 kJ/mm dan kecepatan pengelasan lebih rendah dari 6 mm/s.

Tabel 4. Hubungan heat input, nilai kekerasan, dan burn-through

<i>Heat input</i> (kJ/mm)	<i>Kecepatan</i> (mm/s)	<i>Kekerasan</i> (VHN)	<i>Burn-through</i>	<i>Keterangan</i>
0,192	10	453	tidak	tidak aman
0,32	6	454	tidak	tidak aman
3,84	0,5	251	tidak	aman

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu perbaikan pipa menggunakan metode *weld-deposition* dengan pengelasan FCAW menggunakan elektroda E71T-11 diameter 0,8 mm tidak terjadi *burn-through* meskipun dengan *heat input* yang tinggi yaitu 3,84 kJ/mm pada kecepatan pengelasan yang sangat rendah yaitu 0,5 mm/s. Nilai kekerasan diatas 350 VHN berpotensi terjadi *hydrogen cracking* pada pengelasan dengan *heat input* 0,32 kJ/mm dengan kecepatan pengelasan 6 mm/s. Batas minimal *heat input* perlu dihindari agar tidak berpotensi *hydrogen cracking* adalah 0,32 kJ/mm sedangkan batas maksimal *heat input* tidak dibatasi dikarenakan tidak ditemukan *burn-through* pada kecepatan pengelasan rendah. Penelitian ini mencari hasil pengelasan yang optimal menggunakan metode FCAW dan variasi kecepatan pengelasan 5 mm/s sampai dengan 1 mm/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asl, H.M., Vatani, A., "Numerical Analysis of the Burn-Through at In-Service Welding of 316 Stainless Steel Pipeline", *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 49, Ed.59, pp. 105-106, 2013.
- [2] Boran, J., "The Hot-Tapping of Sub Sea Pipelines", *Welding Review*, Vol 6, no 4, pp. 283-284, 1987.
- [3] Bruce, W. A., "Welding Onto In-Service Pipelines: A Review", *Pipeline Welding '98, International Symposium on Pipeline Welding*, 1998.
- [4] Bruce, W. A *et al.*, "Repair of Pipelines by Weld Metal Deposition", *PRCI 9th Symposium on Pipeline Research*, Houston, Texas, 1996.
- [5] Bruce, W. A *et al.*, "Repair of Pipelines by Direct Deposition of Weld Metal". *A.G.A. Pipeline Research Committee*, Project PR-185-9110, Edison Welding Institute, Columbus, 1993.
- [6] Bruce, W. A., Threadgill, P.L., "Welding on to in-Service Pipelines", *Welding Design Fabrication*, Vol. 64, pp.19-22, 1991.
- [7] Bruce, W. A., Threadgill, P. L., "Effect of Procedure Qualification Variables for Welding onto In-service Pipelines", *American Gas Association Report J7141*, 1994.
- [8] Cassie, B. A., "The Welding of Hot Tap Connections to High Pressure Gas Pipelines", *Pipeline Industries, Guild J. W. Jones Memorial Lecture*, St. Louis, 1974.
- [9] Cola, M. J., Threadgill, P. L., "Final Report on Criteria for Hot Tap Welding", *American Gas Association*, Edison Welding Institute Project J7038, 1988.
- [10] Fischer, R. D *et al.*, "User Manual for Model 1 & Model 2 Computer Programs for the Predicting Critical Cooling Rates and Temperatures During Repair and Hot Tap Welding on Pressurised Pipelines", *Battelle Memorial Institute Report*, Columbus, 1981.
- [11] Han, T *et al.*, "Study on Burn-through Prediction of In-service Welding", *Transactions of JWRI*, Special Issue on WSE2011, 2011, 9-12, 2011.
- [12] Wahab, M.A *et al.*, "In-Service Welding of Gas Pipelines", *CSIRO Manufacturing Science & Technology*, The University of Adelaide, 1999.