

PENGARUH PARAMETER LAS PROSES SAW TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS SAMBUNGAN LAS TABUNG BAJA LPG

THE INFLUENCE OF SAW WELDING PARAMETERS ON QUALITY IMPROVEMENT OF LPG STEEL CYLINDER WELDING JOINT

Surasno

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang 14 Bandung 40135
Email: surasno2005@yahoo.co.id

Diterima: 15 April 2014

Direvisi: 19 Mei 2014

Disetujui: 24 Juni 2014

ABSTRAK

Telah ditemukan cacat las berupa porositas dan *lack of fusion* hasil proses *Submerged Arc Welding (SAW)* pada tabung baja LPG 3 kg di posisi mendatar-berputar. Cacat-cacat las ini disebabkan oleh parameter pengelasan yang tidak sesuai, seperti: *granular flux* kotor dan lembab; arus, tegangan, dan *welding speed* rendah; dan tabung baja pada *turn table* kurang simetris. Langkah perbaikan yang diambil untuk *granular flux* adalah berupa pemanasan pada suhu 200°C dengan *holding time* 60 s.d 120 menit, pembersihan, dan penyaringan. Kemudian, perbaikan parameter las berupa: arus 300 s.d 325 amps, tegangan 29 s.d 30 volts, *welding speed* 126 cm/menit dan untuk tabung baja pada *turn table* dikondisikan simetris. Peningkatan kualitas yang diperoleh pada sambungan las tabung baja LPG 3 kg yaitu *ripple-weld* yang halus, penetrasi ke arah vertikal yang baik serta tinggi manik las (bead) yang optimal. Selain itu, hasil pemeriksaan radiografi test pada sambungan las *circumferensial* tabung baja LPG 3 kg memenuhi spesifikasi standar SNI 05-3563-1994 ditandai dengan tidak munculnya cacat porositas dan *lack of fusion*.

Kata kunci: SAW, porositas, *lack of fusion*

ABSTRACT

Weld defects in the form of porosity and lack of fusion in Submerged Arc Welding (SAW) process on flat-rotating 3kg LPG cylinder steel has occurred. The defects are caused by improper welding parameters, such as: dirty and moist granular flux; the low of current, voltage, and welding speed; and the unsymmetric of cylinder steel on turn table. The steps of improvements on granular flux consist of heating at temperature of 200°C for 60-120 min. holding time, cleaning and filtering. Afterwards, the improvement in welding parameters were conducted by adjusting current in range of 300-325 amp., voltage in the range of 29-30 volt, and welding speed of 126 cm/min. Quality improvement obtained from 3kg LPG cylinder steel welded are smooth ripple-weld, good penetration vertically and optimum weld bead height. Besides, the result of radiographic tests on the weld joint 3kg LPG steel cylinder meet the standard specifications according to SNI 05-3563-1994 indicated by no porosity and lack of fusion defects.

Keywords: SAW, porosity, *lack of fusion*

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2007, Pemerintah mengulirkan program konversi minyak tanah ke gas Elpiji (LPG), dengan tujuan untuk mengubah pengguna minyak tanah bersubsidi yang mayoritas merupakan kalangan ekonomi menjadi pengguna LPG. Tabung baja LPG kapasitas 3 kg di dalam negeri selama periode tahun 2010 berjumlah 64 juta buah di posisi konsumen

sedangkan 25% (16 juta) di Pertamina [1]. Kebutuhan tabung baja LPG di dalam negeri dari tahun ke tahun diperkirakan akan meningkat.

Tabung baja LPG 3 kg Gambar 1 adalah bejana untuk menyimpan gas campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam; sifatnya mudah terbakar, tidak beracun, tidak berwarna, berbau menyengat setelah diberikan zat mercaptan. Gas LPG dimampatkan menjadi ke bentuk cair sehingga akan mudah

menguap dan jika dilepas akan menyebar dengan cepat. Massa jenis gas ini lebih berat jika dibandingkan dengan udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah dan sangat mudah terbakar. LPG didistribusikan dan diperdagangkan sebagai cairan bertekanan dalam tangki silinder volume 80 s.d 85% kapasitas tabung [1,2].

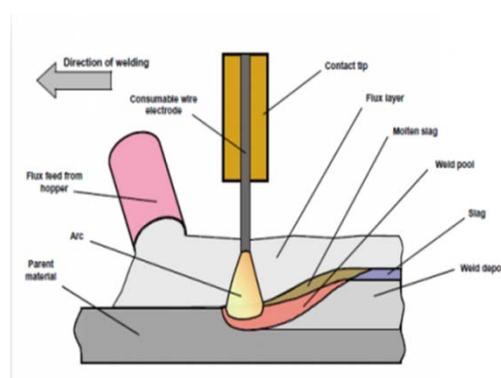
Kebakaran terjadi pada gas LPG dapat disebabkan oleh kualitas kompor gas yang kurang baik, kualitas regulator rendah dan kurangnya sosialisasi dari pemerintah, atau kualitas sambungan las tabung baja LPG kurang baik [1, 2].

Tabung baja LPG kapasitas 3 kg, 12 kg dan 50 kg dibuat oleh Perusahaan Dalam Negeri dengan konstruksi sambungan las. Pemerintah dalam hal ini Pertamina mensinyalir bahwa tabung baja LPG kapasitas 3 kg yang beredar di konsumen sebagian tidak memenuhi spesifikasi SNI 1452:2011 “Tabung Baja LPG” [3], hasil uji radiografi (RT) mengindikasikan cacat-cacat las melebihi ketentuan standar SNI 05-3563-1994 [5] (Tabel 1). Hasil pengamatan RT oleh Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) terhadap produk tabung baja LPG 3 kg dari beberapa perusahaan, yaitu cacat las porositas dan *lack of fusion* (fusi tidak sempurna). Bilamana terdapat cacat-cacat las pada sisi dalam di sekitar sambungan las dapat menyebabkan korosi.

Tabung LPG dibuat dari bahan baja karbon rendah [5]. Penyambungan badan tabung bagian atas dan bawah di las cincin (*welded circumferential joint*) dengan sistem tumpang (*jogle offset*) pada komponen bagian bawah. Sambungan komponen dilas dengan proses *Submerged Arc Welding* (SAW) [3], Gambar 2. Proses SAW dipilih karena efisien, murah dan cepat.



Gambar 1. Tabung Baja LPG 3 kg [1]



Gambar 2. Penampang Proses Las SAW [3]

Proses *automatic welding* posisi datar, pengumpanan *filler material* dari kawat gulungan bersamaan dengan pengumpanan *flux*. Polaritas DCEP arus searah elektroda positif akan memberikan efek penetrasi dangkal [6], oleh karena arus listrik yang digunakan tinggi maka akan memberikan efek penetrasi kearah *vertical* yang dalam [6]. Sedangkan pada bagian *hand guard* dan *foot ring* disambung dengan cara proses SMAW atau GMAW.

Tabel 1. Hasil Pengujian NDT Uji Radiografi

| No | Wilayah | Tipe | Hasil Radiografi Test (RT) |
|----|------------------|------|---|
| 1 | Bogor-Jabar | 3 kg | Ditolak, cacat porositas 2 <i>cluster</i> (4-6) mm. |
| 2 | Tangerang-Banten | 3 kg | Ditolak, cacat porositas <i>cluster</i> 11 mm, banyak titik cacat porositas sepanjang (200, 30, 10) mm. |
| 3 | Cilengsi-Jabar | 3 kg | Ditolak, cacat porositas <i>cluster</i> (2-4) mm, dan banyak titik cacat porositas sepanjang 130 mm. |
| 4 | Bekasi-Jabar | 3 kg | Ditolak, cacat porositas <i>cluster</i> 5 mm, banyak titik cacat porositas sepanjang (200 dan 100) mm. |
| 5 | Serang-Banten | 3 kg | Ditolak, banyak titik cacat porositas sepanjang (60, 15, 119, 200) mm. |
| 6 | Gempol-Jatim | 3 kg | Ditolak, banyak titik cacat porositas sepanjang (30, dan 50) mm. |
| 7 | Jakarta | 3 kg | Ditolak, banyak titik cacat porositas sepanjang 200 mm, 2 <i>lack of fusion</i> panjang (190 dan 200) mm. |

Sumber: Laboratorium Pengujian NDT Balai Besar Bahan dan Barang Teknik

Perlakuan tabung baja LPG 3 kg di lapangan kadang-kadang dilempar-lempar hal ini dapat berakibat cacat pada tabung, retakan akan menjalar, dikhawatirkan akan terjadi bocoran gas dan mengalir keluar, ketika ada api dapat menimbulkan ledakan dan terjadilah kebakaran, sehingga menimbulkan kecelakaan.

Umur pakai tabung gas LPG ditetapkan 5 tahun, secara bertahap Pertamina akan menarik dari pasaran kemudian menggantinya dengan yang baru. Bilamana terdapat cacat las kemungkinan *lifetime*-nya tidak akan tercapai. Oleh karena itu untuk masa mendatang diharapkan kualitas tabung-tabung baja LPG diproduksi secara konsisten dan harus memenuhi persyaratan SNI 1452:2011 dan Pemerintah melalui Pertamina sebagai penyalur utama gas LPG bertanggung-jawab terhadap produksi tabung baja LPG dalam negeri dan menjaga kualitas untuk keselamatan konsumen pemakai gas LPG.

Sebagian produk tabung baja LPG di dalam negeri belum memenuhi syarat karena masih terdapat cacat-cacat las berupa porositas dan *lack of fusion*. Hasil uji Radiografi Test SNI 05-3563-1994 pada Tabel 1, menunjukkan adanya cacat las yang melebihi ketentuan

persyaratan standar. Sedangkan persyaratan standar SNI 1452:2011 harus mulus, *ripple-weld* rata, tidak boleh ada cacat-cacat las yang dapat mengurangi kekuatan konstruksi.

Ada 2 hal penyebab cacat las pada tabung baja LPG dari proses SAW yaitu: pertama, terjadi cacat porositas yang disebabkan oleh bahan *flux* lembab, kotor dan bercampur debu, permukaan logam berkarat, mengandung minyak atau oli (*grease*), parameter kecepatan las tinggi dan arus rendah [7]. Kedua, *lack of fusion* dapat disebabkan oleh masukan panas *Heat Input* (HI): arus (A), tegangan (V) dan *welding speed* (v) rendah, dan tabung baja LPG dipasang pada *turn table* kurang simetris [7].

Cacat las ini berpengaruh terhadap kemunduran sifat mekanis: kekuatan tarik menurun atau putus pada sambungan las persyaratan standar SNI 1452-201, biasanya kuat tarik pada sambungan las sama atau lebih besar daripada kekuatan tarik bahan induk dan putus tidak boleh di sambungan las, lihat Tabel 2.

Cacat-cacat las porositas dan *lack of fusion* pada sambungan las berpengaruh terhadap kemunduran sifat mekanis pada uji lengkung cacat membuka melebihi 3,2 mm, tidak memenuhi persyaratan ASME Sec IX [9] Tabel 3.

Tabel 2. Data Uji Tarik

| | Tanda contoh | | SNI 1452 2011 |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------------------|
| | T1 | T2 | |
| Batang uji | T1 | T2 | ----- |
| Batas ulur, kg/mm ² | Tidak terekam | Tidak terekam | ----- |
| Kuat tarik, kg/mm ² | 43,6 | 46,75 | Minimum: 41,0 |
| Lokasi putus | Putus di lasan | Putus di lasan | Tidak boleh putus di lasan |

Sumber: Balai Besar Bahan dan Barang Teknik

Tabel 3. Data Uji Lengkung

| | Tanda contoh | | | | ASME Sec. IX |
|------------------|--------------|------|------------------|------------------|--------------|
| | FB1 | FB2 | RB1 | RB2 | |
| Lebar x tebal mm | | | | | 38,0 x 3,2 |
| Diameter duri | | | | | 4 x t |
| Sudut lengkung | | | | | 180 derajat |
| Hasil uji | Baik | Baik | Cacat 3,0-7,0 mm | Cacat 5,0-6,5 mm | Cacat 3,2 mm |

Keterangan: FB = Face Bend, RB = Root Bend

Sumber: Laboratorium Pengujian Barang Teknik Balai Besar Bahan dan Barang Teknik

Dari pengamatan visualisasi di salah satu industri pembuat tabung baja LPG menunjukkan lantai tempat kerja berdebu, serpihan terak bercampur flux tidak disaring dan ada berserakan di lantai, flux tidak dipanaskan, padahal di Perusahaan ini memiliki *furnace rebacking flux* tetapi tidak difungsikan, dan penyiapan permukaan *beveling* dan *bolging* kurang bersih dari minyak. Kondisi demikian itu dapat memicu terjadi porositas [7]. Ketika melepas slag pada tabung baja di mesin *turn-table* kadang-kadang dengan pukulan menyebabkan bergesernya posisi tabung pada *fixture* sehingga alur pengelasan dapat bergeser tidak satu garis lurus, dudukan meja putar kurang simetris memicu terjadinya *lack of fusion* [7].

Dengan ditemukan adanya cacat-cacat las yang melebihi ketentuan standar maka dilakukan penelitian peningkatan kualitas sambungan las pada tabung baja LPG dengan mengoptimalkan parameter las. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan atau pemecahan untuk berbagai kasus kegagalan pada sambungan las baja LPG yang disebabkan oleh cacat porositas dan *lack of fusion*.

BAHAN DAN METODE

Badan tabung baja LPG 3 kg ukuran diameter 260 mm, keliling 820 mm dan tebal 2,3 mm, baja karbon rendah SNI 3018, Baja lembaran pelat dan gulungan canai panas untuk tabung gas Bj TG 255, Bj TG 295 atau JIS G3116-2000 *steel sheet, plate and strip for gas cylinders*.

Bahan pengisi (filler material) dari produk import China Huatong HTW-L12 (EL12) sesuai

dengan AWS A5.17:EL12 EN 756: S1 ukuran: 2,0 mm, 25 kg. Flux tipe SJ 501 AW A5.17 F.7AO-EL12. atau F.7AO-EM12K. 10.60 *Made in China*. Sebelum pengelasan flux dipanaskan di dalam *furnace rebacking flux* suhu 200°C. Pengelasan dilakukan pada tiga contoh dengan tiga parameter waktu pemanasan flux yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit.

Sambungan tabung baja LPG *upper and lower cylinders* dilas menggunakan proses SAW tipe mesin las *Time inverter 630* batas spesifikasi parameter 75A/18V – 800A/44V. Efisiensi 0,84%. Tipe polaritas *derect current electrode positip* (DCEP). Percobaan dilakukan pada tiga contoh tabung baja LPG, *Stick out* (kontak tip ke benda kerja 20 s.d 25 mm dan titik *stick-out* ke puncak radius 5 mm dari ketetapan petunjuk pemakaian mesin las). Penempatan tabung baja pada *fixture turn-table* yang berputar pada satu garis sumbu simetris.

Heat Input berdasarkan rumus:

$$HI = (A \times V \times 60) / v \text{ J/cm [9]}$$

Joint Efisiensi (η) 84%.

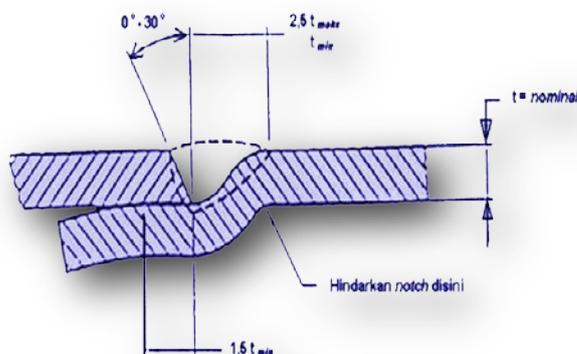
Arus (A) = 300 s.d 325 amps,

Voltage = 29 s.d 30 volts,

Kecepatan Las (v) = 126 cm/menit

HI = 4.428 J/cm

Welding Design butt joint las tumpang sejajar Gambar 3. Posisi las mendatar dan tabung berputar, lebar dan tinggi manik 1,5 t pelat (SNI 1452:2011). *Bevel upper body* dan *Jogling lower body* diperiksa dan dipastikan bersih tidak terdapat tempelan plastik, debu, minyak atau kotoran yang menempel.



Gambar 3. Penampang *Welding Design*

Pengelasan dua lapisan, selama penge-lasan dilakukan pembersihan pelepasan slag pada dinding tabung, boleh menggunakan palu terak atau sikat baja, hindari pukulan keras.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan visual

Hasil pemeriksaan sambungan las pada tiga contoh percobaan dengan parameter las

HI = 4.428 J/cm konstan, lihat Tabel 4. Pelepasan terak pada lapisan pertama berlangsung baik permukaan rata tidak tampak cacat, selanjutnya pelepasan terak pada lapisan kedua juga berlangsung baik. Permukaan sisi luar sambungan las *circumferential ripple-weld* rata, tidak terjadi cacat *undercut*, tidak terdapat cacat porositas dan tidak ada retakan.

Tabel 4. Pengamatan Visual

| Uraian | <i>Under Cut</i> | Porositas | Retakan |
|------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| Contoh 1 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Contoh 2 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Contoh 3 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Persyaratan SNI 05 3563 1994 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |

Tabel 5. Pengamatan Hasil Uji Radiografi

| Uraian | <i>UC</i> | P | <i>LOF</i> | <i>LOP</i> | <i>Slag</i> | Retakan |
|------------------|-----------|-----------|------------|-----------------|-------------|-----------|
| Contoh 1 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Contoh 2 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Indikasi, 75 mm | Tidak ada | Tidak ada |
| Contoh 3 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| SNI 05 3563 1994 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |

Keterangan: UC (*under cut*), P (porositas), LOF (*lack of fusion*), LOP (*lack of peneration*)

Tabel 6. Pengamatan Hasil Uji Lengkung

| Uraian | Hasil uji lengkung | | | | SNI 05 3563-1994 Retakan tidak boleh melebihi 3,2 mm |
|----------|--------------------|--------------|---------------|--------------|--|
| | Lengkung muka | | Lengkung akar | | |
| | Batang uji 1 | Batang uji 2 | Batang uji 1 | Batang uji 2 | |
| Contoh 1 | Tidak retak | Tidak retak | Tidak retak | Tidak retak | Memenuhi |
| Contoh 2 | Tidak retak | Tidak retak | Tidak retak | Tidak retak | Memenuhi |
| Contoh 3 | Tidak retak | Tidak retak | Tidak retak | Tidak retak | Memenuhi |

Tabel 7. Pengamatan *Macrostructure*

| No. Contoh | <i>UC</i> | P | <i>LOF</i> | <i>LOP</i> | <i>Slag</i> | Retakan |
|------------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|
| Contoh 1 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Contoh 2 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Contoh 3 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| SNI 05 3563 1994 | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |

Pengamatan Uji Radiografi

Pemeriksaan sambungan las *circumferential* dengan menggunakan Radiografi Test menunjukkan bahwa cacat porositas dan fusi las baik lihat Tabel 5, akan tetapi pada pengamatan contoh nomor dua terdapat indikasi cacat memanjang 75 mm, selama pengelasan terjadi

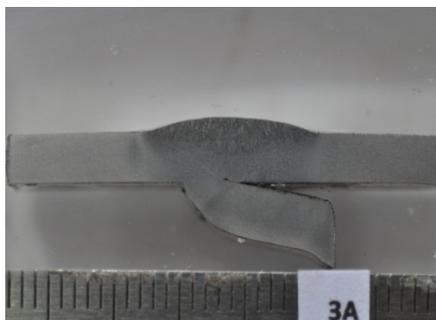
pergeseran *contact-tube stick-out*. Untuk mengatasi pergeseran biasanya dilakukan gerakan pengaturan manual oleh operator-*welding* hingga sesuai arah posisi *filler*. Pergeseran ini sering terjadi pada pengelasan tabung baja LPG 3 kg, dapat terjadi bilamana proses *beveling* ataupun proses di-*jogling* kurang presisi.

Pengamatan Uji Lengkung

Hasil uji lengkung tidak terjadi cacat retakan yang membuka melebihi ketentuan standar lihat Tabel 6, yang diperkuat oleh hasil Uji Radiografi tidak menunjukkan indikasi adanya cacat-cacat las. Uji lengkung membentuk deformasi pada permukaan sambungan las baik sisi muka maupun sisi akar hasil baik tidak terjadi cacat las sub permukaan yang membuka ke permukaan indikasi sambungan baik tidak ada porositas dan *lack fusion* yang membuka.

Analisis Macrostructure

Pada penampang *macrostructure* di logam las, HAZ dan bahan induk tidak dijumpai adanya cacat UC, porositas, *LOF*, *LOP*, *slag*, dan retakan lihat Gambar 4. Tinggi manik las 1 s.d 2 mm merupakan indikasi proses pengelasan berlangsung baik sesuai dengan hasil uji radiografi tidak dijumpai cacat las. Dengan demikian hasil *Macrostructure* fusi las baik. Akan tetapi bilamana peleburan logam induk dan *filler* tidak berlangsung sempurna, sambungan las tidak akan ter-*dilusi* baik dan akan membentuk *LOF*, hal mana dapat disebabkan oleh parameter pengelasan arus dan tegangan rendah, tetapi kecepatan las tinggi.



Gambar 4. Pengamatan Penampang *Macrostructure*

Dengan tidak terbentuknya cacat *LOF* biasanya sifat mekanis kuat tarik tinggi melebihi persyaratan minimum kuat tarik bahan induk dan biasanya putus di luar sambungan las, demikian juga hasil uji lengkung tidak akan terjadi retakan.

Analisis Porositas

Hasil pengelasan pada contoh tabung baja LPG sambungan las *circumferensial* tidak terdapat cacat porositas. Pemakaian bahan *Flux* tipe SJ 501 AW A5.17 F.7AO-EL12 atau F.7AO-EM12K dengan perlakuan panas *flux* pada suhu 200°C dan *holding time* 60 s.d 120 menit sesuai

untuk pengelasan bahan Tabung Baja LPG dengan proses SAW. Perlakuan panas pada *flux* menurunkan kandungan uap air/kelembaban di dalam *flux* sehingga porositas tidak terbentuk di dalam logam cair selama pengelasan. Hal mana porositas terbentuk oleh kandungan uap air yang terdapat di dalam *flux*, ketika proses pengelasan berlangsung tidak terjadi penguapan uap air pembentuk gelembung gas yang terperangkap di dalam logam cair yang membeku [7].

Analisis Lack of Fusion

Untuk mendapatkan sambungan las yang optimal pada pengelasan tabung baja LPG dilakukan dengan 2 lapisan $HI = 4.428 \text{ J/cm}$, menghasilkan tinggi manik las (*reinforcement*) 1,0 s.d 2,0 mm visual permukaan manik las baik, memenuhi kebutuhan untuk pengelasan tabung baja LPG lihat Gambar 4. Tinggi manik las ditentukan oleh HI, sedangkan HI yang dipengaruhi oleh kecepatan las, kecepatan las semakin rendah maka HI pun akan semakin tinggi sehingga *manik* las akan meningkat [7,10].

Desain parameter las Arus (A) = 300 s.d 325 *amps*, Tegangan (V) = 29 s.d 30 *volts*, dan *Welding speed* (*v*) = 126 cm/menit pada sambungan las *circumferensial* tidak terdapat cacat *lack of fusion* [10]. Pengelasan tabung baja LPG 3 kg hasil penetrasi baik. Akan tetapi belum memuaskan karena dilusi logam induk dan logam *filler* tidak maksimum, masih terdapat sedikit celah lihat Gambar 3. Hal ini, sebagaimana pada satu buah contoh terdapat indikasi cacat sepanjang 75mm, cacat dapat dikatakan *lack fusion* atau *lack of penetrasi* akan tetapi masih sulit diinterpretasi. Indikasi cacat las terjadi dari bergesernya posisi alur las oleh bentuk bevel atau *jogging* yang kurang simetris, untuk menghindari cacat ini biasanya operator welding menggerakkan dengan cara manual untuk mengatur *posisi stick out filler* supaya simetris pada posisi awal.

Penetrasi kearah *vertical* dengan menaikan arus pengelasan [7,8]. Meningkatkan proses fusi las terhadap bahan induk sehingga penetrasi las semakin dalam, sedangkan kenaikan penetrasi kearah horizontal dengan menaikan tegangan pengelasan [7,10]. Arus dan tegangan pengelasan memberikan pengaruh peningkatan penetrasi.

KESIMPULAN

Kesimpulan hasil dan pembahasan menyatakan bahwa:

1. Dengan melakukan pemanasan *flux* pada suhu 200°C *holding time* 60 s.d 120 menit, hasil pengelasan tabung baja LPG tidak terdapat cacat las porositas memenuhi SNI 05-3563-1994.
2. Parameter arus (A) = 300 s.d 325 amper, tegangan (V) = 29 s.d 30 volt dan kecepatan las (v) 126 cm/min fusi ke arah vertikal, horizontal dan manik las meningkat, pengelasan tabung baja LPG tidak terdapat cacat las *lack of fusion* memenuhi SNI 05-3563-1994.
3. Kecuali pada contoh kondisi *beveling dan joggling* tidak simetris dengan *stickout filler* terjadi kegagalan.
4. Penempatan tabung baja LPG pada *fixture* dikontrol terhadap kondisi putaran tabung harus simetris dan stabil terhadap alur bevel. Pelepasan slag dengan cara pukulan ketika pengelasan berlangsung harus dihindari karena akan berpengaruh terhadap posisi tabung baja LPG di *fixture*.
5. Untuk keberhasilan dan keseragaman produk tabung baja LPG 3 kg pada pengelasan harus disiapkan *Welding Procedure Specification (WPS)* dan dinyakinkan dengan uji kualifikasi dalam bentuk *Procedure Qualification Record (PQR)*[9].

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Bahan dan Barang Teknik khususnya Sdr. Dadang Toyari dan Sdr Kosasih, seksi pengujian barang teknik atas bantuan serta dukungannya dalam penyediaan data sekunder.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.pertamina.com/news-room/seputar-energi/seluk-beluk-lpg-di-indonesia/>
- [2] <http://blg.fitb.itb.ac.id/usepm/?p381>
- [3] Woodhead Publishing LTD, 2003, *Submerged Arc Welding*.
- [4] SNI 1452:2011, *Tabung Baja LPG*, Standar Nasional Indonesia, ICS 23.020.30. Badan Standarisasi Nasional BSNI. Jakarta. Indonesia.
- [5] SNI 07-3018-2006 *Baja Lembaran Pelat dan Gulungan Canai Panas untuk Tabung Gas (Bj TG)*.
- [6] SNI 05-3563-1994, *Bejana Tekan 1A*, Standarisasi Nasional BSNI. Jakarta. Indonesia.
- [7] Jonathan S. Ogborn, 2004, *The Lincoln Electric Company, Metal Handbook, Welding and Brazing*, American Society for Metals, 8th edition, Park, Ohio 44073. Page 619.
- [8] Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, Tohsie, 2004, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta. Hal. 29-33.
- [9] ASME sec IX, 2013, *Welding, Brazing, and Fusing Qualification*, Boiler and Pressure Vessel Code.
- [10] Raymond J. Sacks, Edward R. Bohnart, 2005, *Welding Principles and Practices*, Third Edition.

