PENGARUH DESAIN SAMBUNGAN LAS CLADDING STAINLESS STEEL 316L PADA BAJA A516 TERHADAP LAJU KOROSI

Oleh :
Tarmizi^{*)}, Hafid, ^{**) dan Herman P. ^{***)}}

INTISARI

Masalah terletak pada belum diaplikasikannya proses las cladding untuk penyambungan pipa di lepas pantai. Tujuannya adalah mendapatkan ketahanan korosi yang lebih baik pada pipa dan menghemat biaya material. Dalam penelitian ini digunakan material baja A516 sebagai logam induk dengan cladding baja tahan karat 316L. Metode aplikasi pengelasan girth weld, meliputi : (1) membandingkan rancangan sambungan las bentuk groove V dengan groove Vm (modifikasi) dengan parameter las SMAW yang sama, (2) proses cladding dikerjakan dengan metode overlay SMAW. Berdasarkan hasil uji tarik disimpulkan bahwa kekuatan tarik sambungan girth weld bentuk groove V 3 % lebih tinggi dari groove Vm (modifikasi). Hasil pengujian korosi pitting dalam larutan 6 % FeCl₃ 22 ± 2 °C selama 72 jam menunjukkan bahwa laju korosi bentuk groove V lebih tinggi 153,6% daripada bentuk groove Vm (modifikasi). Harga pokok produksi pengelasan diperoleh sebesar Rp. 279.996,-

Kata kunci-kata kunci : material cladding, lepas pantai, las busur elektroda terbungkus.

ABSTRACT

The influence of 316L stainless steel weld cladding design of steel A516 towards corrosion resistance. A problem arises on offshore pipe welding when weld cladding is not implemented. The research is aimed at getting higher corrosion resistance of offshore pipe and reduced material costs. The research used A516 steel as main metal with 316L stainless steel cladding. Application of the girth weld method, covers : (1) comparison between welding design of V groove and Vm groove (modification) with the same SMAW parameter, (2) cladding process done with SMAW overlay method. This research in an interesting strength of extension of girth weld from V groove is 3 % higher than Vm groove (modification). Testing of pitting corrosion in condensation 6 % FeCl₃ 22 ± 2 °C during 72 hour indicates that corrosion form of V groove is 153.6 % higher than form of groove Vm (modification). Production cost of welding is Rp. 279,996,-.

Keywords : cladding material, off shore, Shielded Metal Arc Welding (SMAW).

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah suatu negara kepulauan yang sebagian besar terdiri dari air laut dan juga sebagai negara penghasil minyak dan gas bumi. Diperkirakan bahwa minyak dan gas bumi didaratkan akan habis dalam beberapa dekade sehingga konsentrasi eksplorasi dan eksploitasi ditekankan pada kegiatan di lepas pantai (*off shore*). Kegiatan tersebut kemudian berkembang untuk segala kebutuhan pemeliharaan dan perbaikan sampai dengan konstruksi dalam air laut baik pembangunan di lepas pantai maupun untuk kegiatan konstruksi saluran yang menggunakan pipa di dalam air. Belum lagi kemungkinan dibangunnya distribusi minyak dan gas bumi dengan

menggunakan pipa antar pulau. Hal ini membuat bidang teknologi pengelasan dalam air laut mutlak harus dikuasai ⁽¹⁾.

Pada saat ini, untuk transportasi dari sumur minyak dan gas alam lepas pantai telah banyak digunakan pipa *cladding* dengan diameter sampai dengan 18 inchi. Minyak bumi dan gas alam ini mengandung ikutan yang bersifat korosif, seperti klorida, H₂S dan CO₂. Pemakaian pipa *cladding* untuk mengatasi masalah korosi secara ekonomis menguntungkan karena proses pembuatannya relatif lebih murah daripada menggunakan *stainless steel*. Salah satunya adalah jenis pipa

ketebalan pelat ini dapat dibedakan seperti pada tabel 3.

Tabel 2. Klasifikasi baja A516 ⁽⁴⁾

Grade U.S. (SI)	Tensile Strength, ksi (Mpa)
55(380)	55-75(380-515)
60(415)	60-80(415-550)
65(450)	65-85(450-585)
70(485)	70-90(485-620)

Tabel 3. Ketebalan maksimum grade baja A516 ⁽⁴⁾

Grade U.S. (SI)	Tensile Strength, ksi (Mpa)
55(380)	12(305)
60(415)	8(205)
65(450)	8(205)
70(485)	8(205)

2.3. Stainless Steel AISI 316L

Pada penelitian ini, logam *cladding* yang digunakan untuk pembuatan material *cladding* adalah baja tahan karat AISI 316L. 316L merupakan jenis baja tahan karat austenitik dengan kadar karbon yang lebih rendah dibanding *stainless steel* 316. Keuntungan dari baja tahan karat 316L ini sebagai berikut : (1) Ketahanan korosinya sangat baik terhadap korosi CO₂ dan korosi pitting pada media NaCl, (2) *Weldability* baik. Komposisi kimia *stainless steel* 316L berdasarkan spesifikasi NKK (*Modified UNS S31603* atau *S3165*) ditunjukkan pada tabel 4, sedangkan sifat-sifat mekanik 316 L ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 4. Komposisi kimia stainless steel 316L (wt %) ⁽³⁾

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0,03 max	0,75 max	2,0 max	0,04 max	0,03 max	10-14	16-18	2,0 – 3,0

Tabel 5. Sifat-sifat mekanik *stainless steel* 316L ⁽³⁾

	Y.S (min)		T.S (min)		El (min)
316L solid	30 ksi	207 Mpa	70 ksi	482 Mpa	25 %
X65 – 316L clad	65 ksi	448 Mpa	77 ksi	530 MPa	API formula

Tabel 6. Jenis material yang biasa digunakan di *off shore* ⁽³⁾

Material	Paduan	Komposisi kimia	Ketahanan korosi			
			CO ₂ general corrosion	Korosi pitting	Cl ⁻ SCC	H ₂ S SCC
Stainless steel austenitik	316L	18Cr-12Ni-2-2Mo	B	B	J	J
Stainless steel Dupleks	NK CR22	22Cr-6Ni-3Mo	SB	SB	B	S
High Ni Alloy Austenitik	NK NIC25M NK NIC32 NK NIC42 Alloy 625	25Ni-22Cr-3Mo 32Ni-22Cr-4,5Mo 42Ni-22Cr-3Mo 62Ni-22Cr-9Mo	SB	SB	SB	SB

Keterangan : SB = sangat baik, B = baik, S = sedang, J = jelek.

2.4. Pengelasan SMAW

Pengelasan *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses pengelasan dengan busur listrik, dimana panas di dapat dari busur yang memancar antara elektrode dengan selubung *fluks* dan benda kerja (gambar 1). Ujung elektrode, daerah busur las dan sekitar logam cair dilindungi dari pengotoran udara sekeliling dengan adanya gas yang terjadi karena pembakaran dan penguraian dari *fluks*. Sedangkan logam cair mendapat tambahan perlindungan dari adanya *slag* yang mencair.

Gambar 1. Prinsip las SMAW ⁽⁵⁾.

2.5. Korosi Pitting

Pitting merupakan korosi yang terlokalisir pada satu atau beberapa titik dan dapat mengakibatkan terjadinya lubang kecil yang dalam. Korosi ini sangat berbahaya karena sulit diperhitungkan dan dideteksi. Kerusakan yang ditimbulkan dapat terjadi secara tiba-tiba. Disamping itu, korosi ini justru terjadi pada logam yang dikenal tahan korosi, seperti aluminium, *stainless steel* (gambar 2.).

Gambar.2. Korosi pitting ⁽⁶⁾.

2.6. Tekno Ekonomi

Metode kalkulasi biaya pengelasan diperlukan untuk memenuhi persyaratan dalam fabrikasi dimana setiap pekerjaan akan mempunyai biaya kalkulasi yang berbeda untuk setiap produk.

Meskipun demikian pada umumnya hal yang terpenting dalam penentuan faktor biaya meliputi : material, biaya pekerjaan langsung dan tak langsung. Adapun faktor-faktor yang menentukan biaya pengelasan adalah sebagai berikut ^(10,11,12,13) :

1. Kondisi Pengelasan :

- Diameter kawat las(mm)
- Arus listrik (Amp.)
- Tegangan listrik (Volt)
- Kecepatan aliran gas (l/menit)
- Pemakaian flux (m/kg).

2. Biaya Elektrode

Biaya elektrode las ditentukan berdasarkan :

- Deposit metal yang dihitung berdasarkan geometri dari alur atau galur las, dalam satuan g.
- Efisiensi deposit dapat ditentukan dari pengalaman dimana deposit metal yang diperlukan dibandingkan dengan inti kawat las yang melebur, dalam satuan %.
- Jumlah pemakaian elektrode yang tergantung pada metal deposit dan efisiensi deposit, dalam satuan g/m.

$$W\eta = \frac{(A + B) \times L \times \rho}{\eta} \times 100 \quad (1)$$

Dimana :

$W\eta$ = Berat elektrode (g)

A = Luas penampang alur las (cm^2)

B = Luas penampang reinforcement (cm^2)

$= (A \times 0,1 - 0,2)$

L = Panjang lasan

ρ = Berat jenis logam las

η = Efisiensi deposit (%)

$$\text{Ef. Deposit} = \frac{\text{Berat metal deposit}}{\text{Berat inti kawat melebur}} \times 100 \quad (2)$$

- Biaya elektrode bergantung pada diameter elektrode yang digunakan, dalam satuan Rp/kg.

3. Biaya Gas

Biaya gas ditentukan berdasarkan :

Biaya gas = kec. Alir gas x waktu nyala busur
x unit biaya

4. Biaya Pekerjaan

Ditentukan berdasarkan :

- *Arc generation ratio* yaitu ratio dari juru las melakukan pekerjaan, dalam %.
- Waktu kerja las ditentukan berdasarkan waktu nyala busur dan arc generation ratio, dalam menit/m.

$$W\gamma = \frac{C}{\alpha} \times 100 \quad (3)$$

Dimana :

$W\gamma$ = waktu kerja las (menit)

C = waktu nyala busur (menit)

= (deposit metal ÷ *deposite rate*), menit

α = *arc generation ratio* (%) 5 % s/d 40 %.

- Unit harga pekerjaan ditentukan berdasarkan upah juru las, dalam Rp/jam.
- Biaya pekerjaan ditentukan dari waktu kerja las dan unit harga pekerjaan, biaya pekerjaan, dalam Rp/m.

5. Biaya Tenaga Listrik

Ditentukan berdasarkan :

- Unit tenaga listrik, dalam Rp/KWH
- Efisiensi tenaga listrik mesin las, dalam %.
- Biaya tenaga listrik ditentukan dari pemakaian arus dan tegangan las, waktu nyala busur dan unit biaya tenaga listrik serta efisiensi tenaga listrik mesin las, dalam Rp/m.

$$W\eta = \frac{I \times V}{1000} \times \frac{C}{60} + \frac{I}{\eta_w} \times (1 - \alpha) F \quad (4)$$

Dimana :

W_e = Pemakaian tenaga listrik, kWh

I = Arus pengelasan (Amp)

V = Tegangan (Volt)

C = Waktu nyala busur (menit)

η_w = Efisiensi tenaga dari sumber tenaga

α = *arc generation ratio* (%)

F = Pemakaian tenaga bila busur tidak dinyalakan (2,5 – 3 kWh mesin las AC dengan rentang arus 300 Amp.)

6. Biaya Mesin Las

- Harga mesin las tergantung dari jenis proses dan tipe mesin las, dalam Rp.
- Depresiasi yang bergantung pada harga mesin waktu nyala busur dan perkiraan umur pakai mesin las, dalam Rp/m.

$$\text{Dep.} = \frac{\text{Harga mesin} \times \text{waktu kerja}}{5 \text{ (tahun)} \times 250 \text{ (hari)} \times 8 \text{ (jam)} \times 60 \text{ (menit)}} \quad (5)$$

- Biaya pemeliharaan mesin las yang bergantung pada harga mesin las, dan waktu nyala busur dalam satu tahun, dalam Rp/m. Biasanya biaya pemeliharaan diperkirakan 5 % s/d 15 % dari harga mesin las untuk

alokasi penggantian kontak tip atau biaya perbaikan.

7. Total Biaya Las

Total biaya las adalah penjumlahan dari keseluruhan biaya di atas, yaitu :

$$W_c = (W\eta \times A\eta) + (W\gamma \times B\gamma) + (W_e \times C_e) + K \quad (6)$$

Dimana :

W_c = biaya pengelasan

$W\eta$ = berat elektrode

$A\eta$ = harga electrode

$W\gamma$ = waktu kerja las

$B\gamma$ = biaya juru las

W_e = pemakaian tenaga listrik

C_e = biaya unit tenaga listrik

K = depresiasi dan biaya pemeliharaan mesin las, biaya pengujian, biaya PWHT dan sebagainya.

I. HIPOTESIS

Melalui metode *girth weld* menggunakan material baja A516 sebagai logam induk dengan *cladding stainless steel 316L* untuk pipa di lepas pantai (*offshore*) diharapkan dapat dihasilkan penyambungan perpipaan untuk transformasi minyak dan gas dan dapat mengatasi masalah korosi sehingga secara ekonomis menguntungkan karena dapat menghemat biaya.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan sifat masalahnya, penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian eksperimental yang bertujuan untuk : (1) mengetahui pengaruh dua bentuk *groove* pada pengelasan *girth weld* terhadap sifat mekanis dan ketahanan korosinya, (2) mengetahui tentang jenis-jenis pengujian *girth weld* pada pipa *cladding*. Adapun urutan tahapan metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

4.1. Pembuatan Material Cladding

Penelitian pembuatan material *cladding* dengan proses pengelasan *weld overlay* menggunakan base metal baja A516 tebal 15 mm dan lapisan *cladding stainless steel 316L*, telah dilakukan di MIDC ⁽⁷⁾. Parameter-parameter las yang digunakan untuk pembuatan material *cladding* tercantum pada tabel 7.

Tabel 7. Parameter-parameter las pembuatan material *cladding* ⁽⁷⁾.

Material	Jarak Nosel-B.K (mm)	Tegangan Listrik (V)	Arus Listrik (A)	Kecepatan Las (cm/mnt)	Proses Las
1	26	36	225	40	SAW Otomatis
2	30				
3	34				
4	38				
5	26	30			
6	30				
7	34				
8	38				

Dari tabel 7 adalah parameter proses saat pembuatan material *cladding* dengan metode *weld overlay*, proses pengelasan yang digunakan adalah SAW otomatis. Proses pengelasan SAW otomatis ini menggunakan kecepatan las 40 cm/menit dan arus listrik 225 Ampere dengan kondisi konstan. Material

nomor 1, 2, 3, 4 menggunakan tegangan listrik 36 volt, sedangkan material nomor 5, 6, 7, 8 menggunakan tegangan listrik 30 Volt. Jarak nosel las dengan permukaan benda kerja dibuat bervariasi, yaitu jarak nosel 26 mm untuk material nomor 1 dan 5, jarak nosel 30 mm untuk material nomor 2 dan 6, jarak nosel 34 mm untuk material nomor 3 dan 7, jarak nosel 38 mm untuk material nomor 4 dan 8.

4.2. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan alat spektrometri. Dari pengujian komposisi kimia, maka dapat diketahui komposisi kimia dari baja A516, *cladding stainless steel* 316L, elektrode E 7018 dan E 316L seperti yang terlihat pada tabel 8, tabel 9, tabel 10 dan tabel 11.

Tabel 8 Komposisi kimia baja

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)
0,22	0,22	1,12	0,25	0,035	0,035	sisia

Tabel 9 Komposisi kimia *cladding stainless steel* 316L

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)
0,22	0,35	1,8	18	12	2,7	sisia

Tabel 10 Komposisi kimia elektrode E 7018

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Mo (%)	Fe (%)
0,12	0,90	0,03	0,04	0,80	0,53	sisia

Tabel 11 Komposisi kimia elektrode E 316

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Fe
0,03	0,75	2,0	0,04	0,03	0,03	17	2,5	sisia

4.3. Pengelasan *girth weld*

Pada percobaan pengelasan *girth weld*, material *cladding* yang digunakan jumlahnya terbatas, jadi tidak semua jenis pengujian *girth weld* bisa dilaksanakan. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan pemotongan material *cladding* yang efektif.

Untuk pemotongan material *cladding*, yang harus diperhatikan adalah panjang spesimen uji tarik, karena membutuhkan spesimen yang harus diperhatikan adalah panjang spesimen uji tarik, karena membutuhkan spesimen yang agak panjang,

minimal panjang 254 mm sesuai standart uji tarik ASME IX. Selebihnya bisa digunakan untuk merencanakan spesimen uji struktur makro dan mikro, uji kekerasan serta korosi. Pemotongan material untuk percobaan ini dapat dilihat pada gambar 3.

Variasi bentuk *groove* pada percobaan pengelasan ini adalah bentuk *groove* V dan *groove* Vm (modifikasi) seperti yang terlihat pada gambar 4 dan gambar 5.

Percobaan pengelasan *girth* dilakukan di bengkel las MIDC. Proses pengelasan menggunakan las SMAW secara manual,

dimana parameter las untuk *groove* Vm (modifikasi). Parameter-parameter *girth weld* tercantum pada tabel 12. Setiap selesai pengelasan satu lapisan, maka dilakukan *shot peening* untuk menghilangkan terak dan tegangan sisa. Setelah itu dilakukan agar hasil pengelasan setiap lapisan rata dan baik.

Gambar 3. Pemotongan plat material *cladding*.

Gambar 4. Spesimen pengelasan *girth* bentuk *groove* V.

Gambar 5. Spesimen pengelasan *girth* bentuk *groove* Vm (modifikasi)

Tabel 12. Parameter las SMAW untuk *girth weld groove* V dan Vm

	Elektrode	Diameter (mm)	Arus (Amper)	Tegangan (Volt)	Kecepatan las (cm/menit)
Root	E 7018	2,6	70-80	20-23	6-8
Base metal	E 7018	3,2	110-115	25-30	6-8
Clad metal	E316L	3,2	100-120	25-30	12-15

4.3.1. Pembuatan Spesimen Metalografi

Langkah-langkah pembuatan spesimen metalografi meliputi :

- Pemotongan material untuk dijadikan spesimen metalografi.
- Spesimen dipoles dengan kain poles halus dan cairan alumina grade 0,1 mikron.
- Spesimen dicuci dengan alkohol.
- Untuk proses etsa struktur makro baja karbon A 516 (*base metal*) menggunakan larutan Nital 2 %, yang terdiri dari 2 ml HNO₃ + 98 ml alkohol 96 %, dengan waktu pencelupan sekitar 5 detik. Setelah itu spesimen dicuci dengan air mengalir dan dibersihkan dengan alkohol, lalu dikeringkan. Maka spesimen siap dilakukan pengamatan struktur makro.
- Untuk proses etsa struktur mikro stainless steel 316L (lapisan *cladding*) menggunakan proses elektrolisa di dalam larutan asam oksalat dengan beda potensial 6 volt. Larutan asam oksalat terdiri dari 10 gram asam oksalat dan 100 ml air. Proses elektrolisa berlangsung selama 1 menit. Setelah itu spesimen dicuci dengan air mengalir dan dibersihkan dengan alkohol, lalu dikeringkan, maka spesimen siap dilakukan pengamatan struktur mikro.

4.3.2. Spesimen Uji Tarik

Bentuk dan ukuran specimen uji tarik berdasarkan standar ASME IX-KL.462.1.

Gambar 6. Spesimen uji tarik ⁽²⁾

4.4.3. Spesimen Uji Korosi *Pitting*

Langkah-langkah pembuatan spesimen uji korosi *pitting*, meliputi :

- Pemotongan material untuk dijadikan spesimen uji korosi *pitting*. Material yang digunakan adalah lapisan *cladding* terluar dari sambungan *girth weld* dan *cladding* terluar dari *weld overlay*.
- Spesimen diberi pemegang dengan resin untuk memudahkan menghitung luas area spesimen yang terkorosi.
- Spesimen diampas dengan kertas amplas *grade* 100, 240, 400, 600, 1000, dan 1200.
- Spesimen dipoles dengan kain bludru dan cairan alumina *grade* 0,1 mikron.
- Spesimen ditimbang dan dihitung luas permukaannya sebelum dilakukan uji korosi *pitting*.
- Setelah uji korosi, spesimen juga ditimbang lagi, untuk menghitung *weight loss* dari tiap-tiap spesimen yang diuji, sehingga dapat dihitung laju korosinya dalam mm/bulan.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Struktur Makro dan Pengujian Kekerasan

Gambar 7 menunjukkan foto struktur makro *girth weld* material *cladding* bentuk *groove* V. Pada spesimen 1, 3, 5 dan 7 terlihat *girth weld* berbentuk V, antara *girth weld* dan logam induk terdapat daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang kelihatan agak terang. Pada *girth weld*, *root* pada bagian terbawah, kemudian di atasnya terdapat lapisan-lapisan hasil las elektrode E 7018, pada daerah *cladding* terlihat *layer-layer* hasil elektrode E 316 L. Logam induk terdiri atas baja A516 yang di *cladding* dengan *stainless steel* 316L.

Gambar 8 menunjukkan foto struktur makro *girth weld* material *cladding* bentuk *groove* Vm (modifikasi). Pada spesimen 2, 4, 6, dan 8 terlihat *girth weld* berbentuk V yang dimodifikasi, di *girth weld* daerah *cladding* menjadi lebih lebar dan agak menjorok ke daerah *base metal*. Antara *girth weld* dan logam induk terdapat daerah HAZ yang kelihatannya agak terang. Pada *girth weld*, *root* pada bagian terbawah, kemudian di atasnya

terdapat lapisan-lapisan hasil las elektrode E 7018. Pada daerah *cladding* terlihat lapisan-lapisan hasil deposit elektrode E 316 L. Logam induk terdiri atas baja A516 yang di *cladding* dengan *stainless steel* 316L.

Gambar 7. Foto struktur makro *girth weld* bentuk *groove* V.

Gambar 8. Foto struktur makro *girth weld* bentuk *groove* Vm (modifikasi)

Spesimen 1 dengan bentuk *groove* V mengalami defleksi sebesar 5° dan spesimen 2 dengan bentuk *groove* Vm (modifikasi) mengalami defleksi sebesar 10° . Hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen dengan bentuk *groove* Vm melepaskan tegangan sisa yang lebih besar daripada spesimen dengan bentuk *groove* V. Tegangan sisa yang terjadi pada spesimen *groove* Vm relatif lebih besar daripada spesimen *groove* V karena volume logam cair (*weld pool*) untuk *groove* Vm lebih tinggi daripada *groove* V, sehingga saat pembekuan terjadi penyusutan dan menghasilkan distorsi yang lebih besar.

Berdasarkan pada gambar 9 dan gambar 10 terlihat bahwa hasil *girth weld* pada daerah *cladding weld* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan daerah *center* dan *root weld*. Hal ini karena *stainless steel* 316L dan elektrode E 316L mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan baja A516 dan elektrode E 7018. Pada standar pengujian *girth weld* ⁽⁹⁾ disebutkan bahwa *acceptance criteria* untuk kekerasan lapisan *cladding* maksimum 325 Hv dan kekerasan *base metal* maksimum 248 Hv. Berdasarkan pada gambar 9 dan gambar 10 maka kekerasan maksimum pada lapisan *cladding* dan *base metal* masih memenuhi syarat *acceptance criteria* dari *girth weld*.

Gambar 9. Grafik uji kekerasan *girth weld* bentuk *groove V*.

Gambar 10. Grafik uji kekerasan *girth weld* bentuk *groove Vm*.

5.2. Pengamatan Struktur Mikro

Gambar 11 menunjukkan struktur mikro *girth weld* material *cladding* dengan bentuk *groove V*. Pada daerah A dan B adalah *interface* antara baja A516 dengan *stainless steel* 316L. Daerah C adalah *interface* antara baja A516, *stainless steel* 316L, elektrode 316L. Daerah D merupakan *interface* antara elektrode E 7018 dan elektrode 316L. Daerah E adalah *interface* antar lapisan elektrode E 316L.

Gambar 11. Struktur mikro *girth weld* bentuk *groove V*.

Gambar 12 menunjukkan struktur mikro *girth weld* material *cladding* dengan bentuk *groove V* yang dimodifikasi (Vm). Pada daerah A dan B adalah *interface* antara baja A516 dengan *stainless steel* 316L. Daerah C adalah *interface* antara baja A516, elektrode E 316L. Daerah D merupakan *interface* antara elektrode E 7018 dan elektrode E 316L. Daerah E adalah *interface* antar *layer* elektrode E 316L.

Dari gambar 11 dan gambar 12 terlihat bahwa baja A516 berwarna hitam dan tidak terlihat strukur mikronya, karena sengaja dengan larutan kimia yang cocok untuk *stainless steel* 316L, sehingga yang terlihat adalah struktur mikro dari *stainless steel* 316L pada lapisan *cladding weld overlay* dan *girth weld*. Dari pengamatan pada lapisan *cladding stainless steel* 316L terlihat bahwa struktur mikro terdiri dari ferit dan austenit.

Gambar 12. Struktur mikro *girth weld* bentuk *groove Vm*.

5.3. Pengujian Tarik

Spesimen uji tarik berdasarkan standar ASME IX-KL.462.1 dan test uji tarik sesuai standar ASTM E8M : 1988. Uji tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik merk DARTEC dengan beban maksimum 100 ton.

Dari gambar 13 terlihat bahwa spesimen bentuk *groove V* mempunyai kekuatan tarik 3 % lebih tinggi dibanding bentuk *groove Vm* (modifikasi). Hal ini karena bentuk *groove Vm* (modifikasi) terdapat lekukan dan area sambungan *girth weld* lebih luas, oleh karena itu volume logam cair (*weld pool*) untuk *groove Vm* lebih tinggi daripada *groove V*, sehingga saat pembekuan terjadi dan penyusutan menghasilkan distorsi yang lebih besar. Hal inilah yang dapat menurunkan kekuatan tarik *groove Vm*.

Gambar 13. Grafik uji tarik.

Pada tabel 5 menunjukkan kekuatan tarik *stainless steel* 316L sebesar 482 Mpa, lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik logam induk baja A 516 Grade 60 pada tabel 2 sebesar 550 MPa. Oleh karena itu bentuk *groove Vm* (modifikasi) yang mempunyai volume logam cair *stainless steel* 316L lebih banyak, kekuatan tariknya akan lebih rendah dibandingkan bentuk *groove V*.

5.4. Pengujian Korosi Pitting

Pengujian material terhadap ketahanan korosi *pitting* berdasarkan standar ASTM 2002 volume 0.3.02 : G48 method A – *Ferric chloride pitting test*. Pada pengujian korosi ini, spesimen dimasukkan ke dalam larutan 6 % FeCl_3 selama 72 jam pada temperatur 22 ± 2 °C.

Dari gambar 14 terlihat bahwa ketahanan terhadap korosi *pitting* pada *girth weld* bentuk *groove Vm* lebih baik daripada *girth weld* bentuk *groove V*. Laju korosi *girth weld* bentuk *groove V* 153,6 % lebih tinggi daripada bentuk *groove Vm*. Hal ini disebabkan karena pada saat pengelasan lapisan *cladding girth weld* bentuk *groove V* dengan electrode E 316L memungkinkan terjadinya dilusi dengan lapisan hasil pengelasan elektrode E 7018 yang ada dibawahnya. Dengan bentuk *groove V* ini, memungkinkan dilusi terjadi sampai pada lapisan *cladding* 316L yang paling atas. Sehingga permukaan *cladding girth weld* bentuk *groove V* tidak murni *stainless steel* 316L. Ketika dilakukan uji korosi *pitting* di *girth weld groove V*, maka *weight loss* yang terjadi sangat besar.

Gambar 14. Grafik uji korosi untuk *cladding* *girth weld* bentuk *groove V* dan Vm.

Pada saat pengelasan lapisan *cladding* *girth weld* bentuk *groove Vm* (modifikasi) dengan elektrode E 316L, dilusi dengan lapisan hasil pengelasan elektrode E 7018 yang ada dibawahnya tidak sampai pada lapisan *cladding* 316L yang paling atas. Sehingga permukaan *cladding weld* bentuk *groove Vm* bisa murni *stainless steel* 316L. Ketika dilakukan uji korosi *pitting* pada permukaan *cladding girth weld* bentuk *groove Vm*, maka *weight loss* yang terjadi lebih kecil. Maka *girth weld* bentuk *groove Vm* lebih tahan korosi *pitting* dibandingkan bentuk *groove V*.

5.5. HPP Proses Las Cladding

Walaupun penelitian ini dilakukan secara skala laboratorium namun perhitungan besarnya biaya produksi perlu diketahui sebagai dasar pengambilan keputusan. Agar bila suatu saat teknologi ini akan dikomersialkan, maka penentuan harga jual yang ditawarkan kepada konsumen berdasarkan hasil kalkulasi yang wajar.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus-rumus tekno ekonomi^(10,11,12,13) dan bantuan program Microsoft Excel, maka besarnya harga biaya produksi (HPP) proses pengelasan *cladding stainless steel* 316L diperoleh HPP sebesar Rp. 279.996,-. Untuk lebih jelasnya perhitungan HPP dapat dilihat pada tabel 13 (lampiran 1).

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pada pengelasan *girth weld* untuk pipa *cladding* 316L, bentuk sambungan las *groove V* mempunyai kekuatan tarik 3% lebih tinggi daripada *groove Vm*. Pada pengelasan *girth weld* bentuk *groove V* mengalami defleksi sebesar 5°, lebih rendah dibandingkan bentuk *groove Vm* yang mengalami defleksi sebesar 10°.
2. Pengujian korosi *pitting* dalam larutan 6% FeCl₃, *girth weld* bentuk *groove Vm* mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik 153,6 % dibandingkan bentuk *groove V*. Selain itu bentuk *groove Vm* ketahanan korosinya juga lebih baik 105% dibandingkan *cladding* pada *weld overlay*-nya.
3. Dari uji korosi *pitting*, *girth weld* bentuk *groove V* mempunyai ketahanan korosi yang lebih buruk dibandingkan *cladding* pada *weld overlay*-nya. Pada uji korosi *pitting*, laju korosi *girth weld* bentuk *groove V* 37,4% lebih tinggi dibandingkan *cladding* pada *weld overlay*-nya.
4. Besarnya HPP proses pengelasan *cladding stainless steel* 316L adalah Rp. 279.996,-.
4. Perlu direncanakan *weld overlay* pembuatan material *cladding* dan perencanaan sambungan *girth weld* yang lebih baik, agar laju korosi pada lapisan *cladding*-nya dapat diturunkan serendah mungkin sehingga dapat memenuhi *acceptance criteria* pada pengelasan *girth weld*.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Kepada Bapak Dr. Ir. Slameto Wiryolukito yang telah memberikan sumbangan pemikiran dan diskusi yang berguna.
2. Dr. Bambang Ariwahjoedi, Msc. Tech, yang telah memberikan tempat untuk melakukan percobaan di Laboratorium Korosi, Departemen Kimia FMIPA ITB.
3. Institusi MIDC Deperindag. khususnya Seksi Pengelasan yang telah memungkinkan dilakukan penggunaan fasilitas penelitian ini dari awal hingga selesai dan semua pihak yang tidak bisa ditulis satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Wahid, "Teknologi Pengelasan Dalam Air" Majalah Inspeksi Teknis, B4T Deperindag, Bandung, 1995.
2. Wiryosumarto, H., Okumura, T., "Teknologi Pengelasan Logam", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
3. Yoshino, Y., Fukuda, T., Shimazaki, M. and Ohnisi, K., "Clad Steel Pipes for Transporting Corrosive Oil, Gas Seawater, Offshore Technology Conference", OTC 4328, Texas, 1982.
4. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, ASME section II : *Materials Part A Ferrous Material Specifications*, The American Society of Mechanical Engineers, New York, July 1, 2001 Edition.
5. Rifian Kemas, "Diktat Kuliah Desain Konstruksi Las", UNJANI, Bandung, 2001.
6. Sriwidharto, "Petunjuk Kerja Las", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.
7. Mauliddin, D.S., "Efek Kondisi Pengelasan Pada Struktur Mikro Stainless Steel 316L Dalam Proses Las Cladding Dengan Las Busur Redam (SAW)", Jurusan Teknik Metalurgi, Unjani, Bandung, 2002
8. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, ASME section IX : *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*, The American Society of Mechanical Engineers, New York, July 1, 1995 Edition.
9. Muroran Plant, JSW, "The Japan Steel Works", Ltd., 1999.
10. L.M., Ground, Edward Arnold Ltd., "Principles of Welding Technology", 1982.
11. Micro Wire Welding, Hobart Brothers Technology Center, 1969.
12. Welding Data Engineering Sheets Monticello Books Inc., 1978.
13. Fundamental of Welding and Inspection, Kobe Steel, Ltd.

^{*)} dan ^{**)} Peneliti pada BBLM/MIDC Bandung.

^{***)} Alumnus Teknik Mesin bidang Material ITB.

Tabel 13. Analisis Biaya Pengelasan Cladding Stainless Steel 316 L

		E 7018	316L
Kondisi pengelasan	Kawat las, mm	3,2	3,2
	Arus, Amp.	90	90
	Tegangan Volt	23	23
	Aliran torch gas, l/min	0	0
	Aliran backing gas, l/min	0	0
	Aliran trailing gas, l/min	0	0
Biaya kawat las	Deposit metal, g/m	820	400
	Efisiensi deposit	55	55
	Kebutuhan kawat las, g/m	1490,91	727,27
	Unit biaya kawat las, Rp/kg	16.000	140000
	Biaya kawat las, Rp/m	23.855	101.818
Biaya gas pelindung	Deposition rate, g/min	40	40
	Waktu nyala busur, min	20,5	10
	Biaya unit gas, Rp/l	0	0
	Biaya torch gas, Rp/l	0	0
	Biaya Backing gas, Rp/l	0	0
	Biaya trailing gas	0	0
	Total biaya gas, Rp/m	0	0
	Arc generation ratio, %	30	30
Biaya pekerja	Waktu kerja las, min/m	68,33	33,33
	Unit biaya pekerja, Rp/m	25000	25000
	Biaya pekerja, Rp/m	28.472	13.889
	Harga unit tenaga listrik, Rp/kWh	800	800
Biaya tenaga listrik	Eff. Tenaga listrik mesin las, %	70	70
	Biaya tenaga listrik, Rp/m	72.747	35.487
	Harga mesin las, Rp.	20.000.000	20.000.000
Biaya mesin las	Depresiasi Rp/m	2.278	1.111
	Biaya pemeliharaan, Rp/m	227,78	111,11
	Total biaya mesin, Rp/m	2.506	1.222
	Biaya pengelasan, Rp/m	127.580	152.417
Total biaya pengelasan, Rp/m		279.996	