

PENGARUH VOLTASE DAN JARAK NOSEL TERHADAP LAJU KOROSI CLADDING STAINLESS STEEL 316L PADA PROSES LAS BUSUR RENDAM

(THE EFFECT OF VOLTAGE AND NOZZLE DISTANCE TO CORROSION RATE AT CLADDING STAINLESS STEEL 316 L IN THE SUBMERGED ARC WELDING PROCESS)

Tarmizi, Abdul Wahid, Rieza Rakhman Firdaus
Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM)
Jl. Sangkuriang 12, Bandung 40292
tarmizi@depperin.go.id

ABSTRAK

Las *cladding* merupakan aplikasi teknologi las untuk mengurangi biaya material sehingga untuk mendapatkan hasil las *cladding* yang optimal perlu dilakukan penelitian pengaruh voltase dan jarak nosel terhadap laju korosi. Voltase dan jarak nosel akan mempengaruhi dilusi sehingga akan menyebabkan variasi komposisi kimia logam lasan yang akan berpengaruh langsung terhadap laju korosi. Dalam penelitian ini las *cladding* dilakukan dengan proses *Submerged Arc Welding* pada logam induk plat baja A 516 dengan tebal 15 mm dengan elektroda *stainless steel* 316 L berdiameter 3 mm.

Parameter las yang digunakan adalah variasi jarak nosel (26, 30, 34 dan 38 mm) pada masukan panas (*heat input*) yang konstan yaitu 171,125 J/cm (36 V, 225 A dan 40 cm/mn) dan 143,4375 J/cm (30 V, 225 A dan 40 cm/min). Masukan panas yang konstan dan variasi jarak *nozzle*, menghasilkan dilusi yang berbeda-beda. Dilusi tertinggi (>35%) dihasilkan dari masukan panas sebesar 171,125 J/cm dengan jarak *nozzle* 26 dan 30 mm. Dilusi yang tinggi tidak menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (0-2% ferit), namun ternyata jarak *nozzle* 38 mm menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (\pm 5% ferit). Pada masukan panas sebesar 143,4375 J/cm, jarak *nozzle* 26, 30, 34, 38 mm seluruhnya dapat menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (\pm 5% ferit).

Laju korosi *pitting* dan korosi *intergranular* yang optimal terjadi pada jarak nosel 34 mm (36 V, 225 A dan 40 cm/min) dan 30 mm (30 V, 225 A dan 40 cm/min) dengan laju korosi *pitting* sebesar 9,72 mm/tahun dan 6,48 mm/tahun dan laju korosi *inergranular* sebesar 184,56 mm/year dan 194,64 mm/year. Hal ini disebabkan dilusi yang dimiliki oleh spesimen tersebut sangat rendah (<25%). Dengan semakin rendah dilusi suatu material maka korosi yang terjadi semakin kecil.

Kata kunci : *Cladding*, korosi intergranular, nosel

ABSTRACT

Weld *cladding* is an application of welding technology which can reduce material cost. To get optimum result, research on the effect of voltage and nozzle distance to corrosion rate is needed. Voltage and nozzle distance will effect to dilution which can change chemical composition of welded metal and finally will effect on the corrosion rate. In this research, weld *cladding* was carried-out using *Submerged Arc Welding* process on the base metal of A 516 with 15 mm thickness and *stainless steel* electrode 316 L with 3 mm diameter.

Nozzle distance was varied at 26, 30, 34 and 38 mm combined with constant heat input at 171,125 J/cm (36 V, 225 A and 40 cm/min) and 143,4375 J/cm (30 V, 225 A and 40 cm/min). Constant heat input and varied nozzle distance will produce different dilution. The highest dilution (> 35%) achieved by heat input of 171,125 J/cm with nozzle distance of 26 and 30 mm. High Dilution will not produce optimum cladding (0-2% ferrite), but at nozzle distance of 38 mm optimum cladding (\pm 5% ferrite) could be obtained. At heat input of 143,4375 J/cm, nozzle distance of 26, 30, 34 and 38 mm would produce optimum cladding (\pm 5% ferrite).

Optimum pitting corrosion and intergranular corrosion rate occurred at nozzle distance of 34 mm (36 V, 225 A and 40 cm/min) and 30 mm (36 V, 225 A and 40 cm/min) with pitting corrosion rate of 9,72 mm/year and 6,48 mm/year and intergranular corrosion rate of 184,56 mm/year and 194,64 mm/year. It was caused by its very low (< 25%) dilution of the specimen. The lower the dilution of a material the smaller corrosion to be occurred.

Keywords : Cladding, intragranular corrosion, nozzle

PENDAHULUAN

Fenomena korosi pada peralatan industri minyak, gas dan petrokimia merupakan fakta yang tidak bisa dihindari, karena peristiwa korosi merupakan fenomena alami yang cenderung mengembalikan material ke keadaan alamiahnya (*natural state*) yang paling stabil secara termodinamika. Secara teoritis korosi didefinisikan sebagai proses perusakan material, yang umumnya logam, akibat adanya reaksi kimia dengan lingkungannya. Untuk itu semua pihak yang menggunakan dan memanfaatkan peralatan di lingkungan industri perlu melakukan pemilihan material yang memenuhi persyaratan operasi dan pemeliharaan.

Akibat kondisi perekonomian Indonesia yang mengalami keterpurukan, banyak perusahaan yang mengalami kesulitan dalam hal pengadaan material. Hal ini disebabkan karena material dengan ketahanan korosi yang baik memiliki harga yang tinggi. Dalam situasi seperti ini peranan *engineer* sangatlah diperlukan, karena industri dituntut pemakaian bahan yang relatif murah namun tetap mempunyai sifat-sifat yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, salah satunya ketahanan terhadap korosi.

Proses *surfacing* merupakan proses yang tepat untuk kondisi seperti ini. Proses *surfacing* adalah salah satu aplikasi teknologi pengelasan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada permukaan benda kerja (*base metal*) agar

memiliki ketahanan korosi yang baik. Hal ini dilakukan dengan melelehkan filler metal pada permukaan *base metal* sehingga memiliki sifat-sifat yang lebih baik. Proses untuk mendapatkan ketahanan korosi disebut *weld cladding* (dalam penelitian ini disebut las *cladding*). Proses ini umum dilakukan untuk mengurangi bahan apabila sebuah benda kerja mengalami keausan atau mengalami penurunan ketahanan korosi pada kondisi kerjanya. Sesuai dengan rekomendasi *American Welding Society* (AWS) tentang proses *surfacing*, las *cladding* umumnya menggunakan *Submerged Arc Welding* (SAW) namun proses lain seperti *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW), *Plasma Arch Welding* (PAW) dan *Electroslag Welding* (ESW) juga dapat digunakan. Dalam penelitian ini dibahas proses las *cladding* dengan menggunakan SAW.

Prosedur las yang dapat divariasikan dalam SAW meliputi *welding current*, *voltage*, *travel speed* dan *electrical stickout*. Adanya variasi dalam parameter ini akan berpengaruh pada bentuk dan penetrasi hasil las.

Arus dalam pengelasan merupakan parameter terpenting, karena mampu mengontrol parameter-parameter lain seperti *deposition rate*, penetrasi dan dilusi. Dengan meningkatnya arus pada voltase konstan akan menurunkan *flux-to-wire ratio*, sebaliknya dengan menurunnya arus akan meningkatkan *flux-to-wire ratio*. Penggunaan arus yang rendah pada pengelasan akan menghasilkan penetrasi yang rendah dan *arc* yang tidak stabil. Namun apabila

arus pengelasan yang digunakan terlampaui tinggi akan menghasilkan penetrasi yang dalam, dilusi yang tinggi dan risiko distorsi yang besar.

Seperti halnya arus pengelasan, voltase las berpengaruh terhadap bentuk lasan dan komposisi *weld deposit*. Peningkatan voltase pada arus konstan akan meningkatkan *flux-to-electrode ratio*, sedangkan penurunan voltase akan menurunkan *flux-to-electrode ratio*. Kondisi *arc voltage* yang tinggi tersebut akan menimbulkan panjang *arc* yang lebar, lebar lasan yang besar, banyak percikan logam las (*spatter*) dan penetrasi yang dangkal. Dalam kondisi ini konsumsi *flux* yang digunakan akan lebih banyak sehingga berpengaruh terhadap komposisi dan sifat-sifat logam las. Risiko yang harus dihadapi apabila menggunakan voltase yang tinggi adalah ketahanan yang rendah terhadap retak dan *undercut*. Voltase yang rendah akan menyebabkan panjang *arc* lebih kecil dan penetrasi yang dalam. Hal ini pula yang menyebabkan kontur logam las yang tidak baik karena *arc* yang tidak stabil.

Variasi dalam kecepatan pengelasan (*travel speed*) pada arus dan voltase tertentu juga berpengaruh terhadap hasil lasan. Turunnya kecepatan pengelasan, akan meningkatkan *heat input* dan menambah lebar lasan serta penetrasi akan lebih dalam. Dalam kondisi kecepatan yang rendah penetrasi akan meningkat sampai dengan logam cair mulai bergerak di bawah *arc* dan mempengaruhi karakteristik *heat flow*. Pada kecepatan pengelasan yang tinggi dapat menyebabkan hasil lasan yang tidak rata dan cenderung untuk terjadinya cacat *undercut* dan *porosity*.

Pada pengelasan dengan SAW arus mengalir antara ujung elektroda kontak dan *arc* (panjang elektroda) sehingga akan menimbulkan panas setara kwadrat arus dikalikan tahanannya (I^2R), yang menyebabkan *voltage drop* pada sepanjang elektroda tersebut. Panas yang ditimbulkan dari tahanan listrik dan *voltage drop* tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengatur *deposition rate*. Panjang elektroda selama pengelasan adalah 8 – 12 kali diameter elektroda yang digunakan. Ketika panjang elektroda ditambah pada arus konstan, maka panas dan *melt-off rate* juga akan bertambah. Untuk mengimbangi *voltage drop* dan peningkatan *wire-feed speed*,

maka voltase selama pengelasan harus ditambah untuk mendapatkan lebar lasan yang sesuai. Dengan memperpanjang elektroda 20-40 kali diameter elektroda juga dapat meningkatkan *deposition rate* hingga 50 %, namun kesulitan lain muncul yaitu sulitnya mempertahankan posisi elektroda yang tegak lurus dengan bagian sambungan yang dilas.

Faktor yang mempengaruhi korosi pada lasan meliputi komposisi logam lasan, tegangan sisa (*residual stress*) yang terjadi akibat pengelasan, serta struktur dari daerah terpengaruh panas (*Heat-Affected Zone/HAZ*).

Selama pengelasan *stainless steel*, terbentuk pula daerah yang sangat rentan terhadap korosi. Sensitisasi merupakan suatu pembentukan karbida krom (*chromium carbide*) sepanjang batas butir sebagai akibat berkurangnya unsur krom pada daerah di dekat daerah batas butir. Apabila kadar krom yang terkandung pada logam tersebut di bawah 12 %, maka semakin banyak terbentuk karbida krom pada batas butir sehingga sangat rentan terjadinya korosi pada daerah tersebut. Korosi yang menyerang daerah karbida krom sepanjang batas butir disebut juga korosi pada batas butir (*intergranular corrosion*).

Walaupun logam lasan memiliki tingkat ketahanan terhadap serangan korosi lokal yang disebabkan oleh segregasi mikro (*micro segregation*) didalam struktur dendrit, namun korosi sumuran (*pitting corrosion*) masih dapat terbentuk di daerah *unmixed zone*. *Stainless steel* dengan kandungan ferrite 40-50 % sering digunakan untuk mengurangi kecenderungan terjadinya korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*). Pengelasan *stainless steel* dilakukan dengan kandungan karbon yang rendah dan sedikit penambahan nitrogen

BAHAN DAN METODA

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda *stainless steel* 316L sebagai lapisan *cladding* dan *base metal* A516, yaitu baja karbon rendah untuk *pressure vessel*.

Komposisi kimia baja A516 sesuai dengan *ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECTION II 1995 EDITION MATERIAL SPECIFICATIONS PART A* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 . Komposisi kimia A516 menurut ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL.

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 360]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max ^A :				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	1.27
Over ½ in. To 2 in. [12.5 to 50 mm], inci	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. To 4 in. [50 to 100 mm], inci	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in [100 to 200 mm], inci	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese :				
½ in. [12.5] and under				
Heat analysis ^B	0.60-0.90	0.60-0.90	0.85-1.20	0.85-1.20
Product analysis ^B	0.55-0.98	0.55-0.98	0.79-1.30	0.79-1.30
Over ½ in. [12.5] :				
Heat analysis	0.60-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Product analysis	0.55-1.30	0.79-1.30	0.79-1.30	0.79-1.30
Phosphorus, max ^A	0.035	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max ^A	0.035	0.035	0.035	0.035
Silicon :				
Heat analysis	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Product analysis	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45

^A Applies to both heat and product analysis.

^B Grade 60 plates ½ in. [12.5 mm] and under in thickness may have 0.85-1.20 % manganese on heat analysis and 0.79-1.30 % manganese on product analysis

Komposisi kimia *base metal* A516 menurut hasil spektrometri dapat dilihat pada Tabel 2 dan diagram alir dalam penelitian ini seperti pada Gambar 1.

Elektroda dan Flux

Elektroda yang digunakan dalam proses las *cladding* baja A516 adalah AWS A5.9-81 ER 316L atau DIN 8556 : X 2 Cr Ni Mo 19 12, dengan diameter 2,8 mm. Elektroda ini digunakan untuk mengelas *stainless steell* austenitik untuk tipe AISI 316 dan 316L atau yang lebih rendah. Komposisi kimia elektroda seperti pada Tabel 3.

Sedangkan prediksi komposisi kimia logam lasnya seperti pada Tabel 4 dan sifat mekanik elektroda ini menurut standar adalah sebagai berikut :

- Yield stress (0,2%) = 390 N/mm²
- Tensile strength = 550 N/mm²

Flux

Flux yang digunakan pada proses las *cladding* ini adalah OK Flux 10.92 atau DIN 32522: BCS 5 71 545 AC 8 MB dengan tipe aglomerasi paduan chromium. Komposisi kimianya seperti pada Tabel 5.

Proses Pengelasan

Parameter-parameter las sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 6.

Komposisi kimia dan Metalografi

Pengujian komposisi kimia ini dilakukan dengan metoda Spektrometri dan posisi pe-

Tabel 2 . Komposisi kimia base metal A516 hasil spektrometri

Komposisi kimia (%)				
C	Si	Mn	Ni	Fe
0,22	0,02	1,12	0,25	sisa

Tabel 3. Komposisi kimia elektroda ER 316L

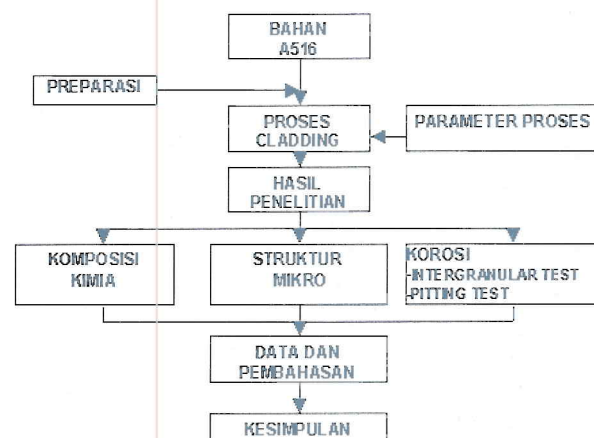
Komposisi kimia (%)						
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
0,02	0,35	1,8	18	12	2,7	sisa

Tabel 4. Prediksi komposisi kimia deposit las.

Komposisi kimia (%)						
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
≤0,03	0,7	1,4	20	12	2,7	Sisa

Tabel 5. Komposisi kimia flux

Komposisi kimia (%)			
C	Cr	Ni	Mo
Rendah	18	12	3



Gambar 1. Diagram Alir

ngambilan sampel uji komposisi kimia dan metalografi seperti pada Gambar 2.

Estimasi Dilusi Logam Las

Dalam las *cladding* aspek yang paling penting adalah pengontrolan dilusi elektroda pada *base metal* ketika dalam penetrasi *arc*. Dilusi dapat mengurangi unsur paduan dan meningkatkan kadar karbon pada lapisan *cladding*, yang dapat menurunkan ketahanan korosi *stainless steel*. Metoda dan cara penghitungan dilusi seperti pada Gambar 3.

Estimasi Ferit Content

Untuk mengestimasi *ferrite content* pada penelitian ini digunakan diagram *Schaeffler*, walaupun untuk mengetahui komposisi ferit pada logam *stainless steel* bisa menggunakan diagram *Schaeffler*, diagram *De Long*, diagram *WRC-1988*, diagram *WRC-1992*.

Pengujian Korosi Pitting

Pengujian ketahanan korosi *pitting* berdasarkan standar *ASTM G 48 methode A - Ferric chloride pitting test*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi *pitting* lapisan *cladding*.

Pengujian Korosi Intergranular

Pengujian ketahanan korosi intergranular berdasarkan standar *ASTM A 262 Practice C - Nitric Acid Test for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steel*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi intergranular lapisan *cladding*.

Posisi pengambilan sampel untuk uji korosi seperti pada Gambar 4.

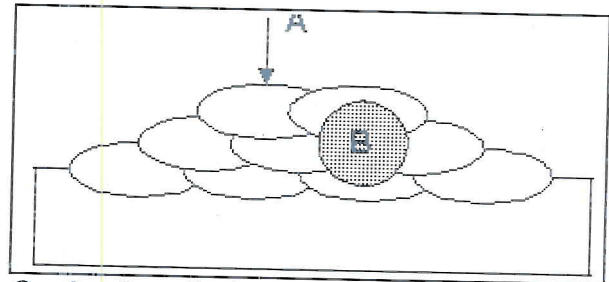
HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia hasil spektrometri, dan hasil perhitungan *chromium equivalent* dan *nickel equivalent* pada *Schaeffler Diagram* seperti pada Tabel 7.

Estimasi komposisi kimia hasil perhitungan memiliki tingkat kecermatan lebih baik karena dapat memprediksi komposisi kimia pada tiap lapisan sedangkan pada hasil spektrometri (Tabel 7) komposisi kimia yang terukur paling optimal adalah pada lapisan ke-3 (posisi A) sedangkan posisi B merupakan komposisi kimia rata-rata dari ketiga lapisan. Namun hasil spektrometri juga menunjukkan penurunan kadar karbon

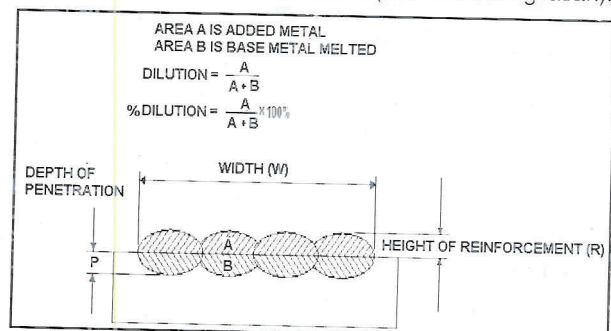
Tabel 6. Parameter las yang digunakan

Spesimen	Parameter las			
	Voltase (V)	Ampere (A)	Kecepatan (cm/min)	Jarak nosel ke benda kerja (mm)
Spesimen 1	36	225	40	26
Spesimen 2	36	225	40	30
Spesimen 3	36	225	40	34
Spesimen 4	36	225 <td 40	38	
Spesimen 5	30	225	40	26
Spesimen 6	30	225	40	30
Spesimen 7	30	225	40	34
Spesimen 8	30	225	40	38

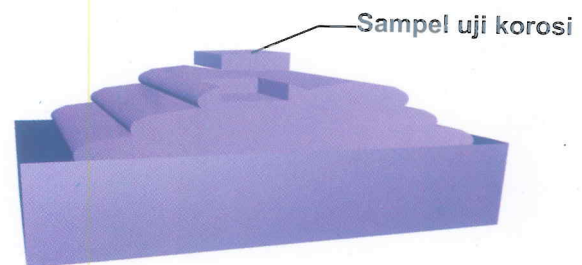


Gambar 2. Posisi uji komposisi kimia dan metalografi

Arah A : Pengujian dilakukan pada lapisan ke-3 yang arahnya dari atas lasan (arah vertikal lasan).
Arah B : Pengujian dilakukan pada tumpukan logam lasan lapisan ke-1, ke-2, dan ke-3 yang arahnya dari sisi lasan (arah melintang lasan).



Gambar 3 . Geometri logam las dan cara untuk menghitung dilusinya.



Gambar 4 . Pemotongan spesimen pengujian korosi

dan naiknya kadar unsur paduan seperti krom, nikel dan mangan.

Hasil uji spektrometri spesimen 1 berbeda dengan spesimen lainnya, yaitu terjadinya peningkatan kadar karbon pada lapisan terakhir dan kadar unsur paduannya

Tabel 7. Komposisi kimia hasil spektrometri logam lasan stainless steel 316L

No.	Komposisi kimia (%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mn	Cu	Fe
1A	0,0672	0,9436	2,023	17,68	14,34	2,454	0,0652	62,427
1B	0,0617	0,8359	1,92	17,93	10,71	2,221	0,0455	66,2759
2A	0,0344	0,8758	1,935	17,40	13,64	2,40	0,0659	63,6489
2B	0,0547	0,9172	1,866	16,72	12,74	2,40	0,0519	65,2502
3A	0,0303	0,9636	1,875	17,81	13,96	2,553	0,0658	62,7423
3B	0,0335	0,9179	1,828	16,69	11,38	2,425	0,0537	66,6719
4A	0,002	0,9571	2,014	17,92	14,23	2,525	0,074	62,2779
4B	0,0284	0,8904	1,842	16,38	13,84	2,395	0,0545	64,3697
5A	0,0037	1,057	2,005	17,83	12,87	2,541	0,0695	63,4451
5B	0,0395	0,9418	1,826	16,38	10,53	2,362	0,0441	67,8766
6A	0,0286	1,032	2,044	18,00	12,81	2,572	0,0683	63,4451
6B	0,0319	0,986	1,90	17,13	12,43	2,512	0,0569	64,9532
7A	0,0006	0,9865	2,019	18,11	13,42	2,554	0,0727	62,8372
7B	0,0433	0,866	1,795	16,79	11,55	2,365	0,046	66,5447
8A	0,0006	1,022	2,037	18,05	13,47	2,586	0,0781	62,7563
8B	0,0135	1,00	1,892	17,36	12,37	2,569	0,0596	64,7359

Niobium (Nb) tidak terdeteksi

Analisa nitrogen tidak dapat dilakukan sehingga diambil 0,06% untuk proses SAW

(krom) turun. hal ini dimungkinkan karena menurut data dilusi tiap lapisan yang terjadi pada spesimen 1 adalah yang paling tinggi (>35%).

Semakin besar harga dilusi dari suatu material akan menyebabkan perubahan komposisi kimia dari material tersebut seperti pada Tabel 8. Dari pengujian yang dilakukan terhadap material *cladding*, didapat suatu hubungan bahwa dengan semakin tinggi dilusi dari material *cladding* tersebut maka akan semakin banyak juga atom-atom yang berdifusi.

Dilusi mempengaruhi karakteristik lasan, dalam hal ini dilusi berpengaruh terhadap komposisi kimia unsur paduan dan konsentrasi karbon. Dilusi tertinggi adalah pada spesimen 1 dan 2. Hal ini disebabkan semakin dekatnya jarak *nozzel* ke benda kerja dengan harga *heat input* yang konstan. Dengan jarak *nozzle* yang lebih besar menyebabkan dilusi pun semakin menurun, efek terhadap komposisi semakin stabil.

Semakin besar harga dilusi dari suatu material akan menyebabkan perubahan komposisi kimia dari material tersebut. Dari pengujian yang dilakukan terhadap material *cladding*, didapat suatu hubungan bahwa dengan semakin tinggi dilusi dari material *cladding* tersebut maka akan semakin banyak juga atom-atom yang berdifusi.

Spesimen 1 (26 mm, 36V, 40 cm/min, 225A, 172,125J/cm) memiliki dilusi yang paling tinggi. Setelah dilakukan uji spektrometri pada spesimen 1 didapat bahwa pada spesimen 1 terjadi peningkatan konsentrasi karbon dan terjadi penurunan

konsentrasi unsur paduan (krom). Terjadinya perubahan komposisi pada spesimen tersebut akan mengakibatkan perubahan sifat dari spesimen. Dengan penurunan konsentrasi unsur krom dan peningkatan konsentrasi unsur karbon akan mengakibatkan di dekat daerah batas butir akan terbentuk presipitasi karbida ($Cr_{23}C_6$). Karbida tersebut bersifat getas sehingga dapat menimbulkan keretakan pada daerah batas butir (*Intergranular Cracking*).

Hal tersebut disebabkan karena pada daerah dekat batas butir terjadi pengendapan unsur krom dengan unsur karbon yang akan membentuk karbida krom

Tabel 8. Estimasi Dilusi tiap Lapisan

Specimen	Lapisan	Dilusi (%)
1	1	40,6
	2	37,8
	3	43,6
2	1	46,8
	2	24,2
	3	37,6
3	1	31,1
	2	32
	3	24
4	1	30,2
	2	28,2
	3	31,3
5	1	31,5
	2	35,7
	3	33,6
6	1	32,7
	2	22,7
	3	25,4
7	1	31,3
	2	33,2
	3	32,3
8	1	29,4
	2	28,5
	3	30,2

(Cr₂₃C₆). Karena karbida-karbida tersebut terletak didaerah batas butir maka pengaruhnya adalah akan terjadi perbedaan potensial antara batas butir dengan matrik dari butir spesimen tersebut. Terjadinya energi potensial pada batas butir akan mengakibatkan korosi pada daerah tersebut. Korosi yang terjadi sepanjang batas butir disebut korosi intergranular. Dengan semakin tingginya dilusi yang dihasilkan oleh material maka akan menyebabkan terjadinya korosi.

Terjadinya perubahan komposisi pada spesimen tersebut akan mengakibatkan perubahan sifat dari spesimen. Dengan menurunnya konsentrasi unsur krom dan meningkatnya konsentrasi unsur karbon akan mengakibatkan di dekat daerah sepanjang batas butir akan terjadi pengendapan karbida krom (Cr₂₃C₆). Karbida tersebut bersifat getas sehingga dapat menimbulkan keretakan pada daerah batas butir (*Intergranular Cracking*). Dengan semakin banyak atom-atom yang berdifusi akibat semakin tingginya dilusi yang dihasilkan maka akan menyebabkan semakin rentan material tersebut terserang korosi.

Kandungan ferit sangat dominan untuk menentukan aman tidaknya hasil lasan terhadap *hot crack*. Hasil pengukuran kandungan ferit ini bervariasi untuk tiap spesimen seperti pada Tabel 9, harga maksimal yang tercapai adalah 5% dan minimum 0% atau berarti mengalami solidifikasi antara austenit dan austenit-ferit. Harga minimal kandungan ferit untuk *stainless steel* 316L yang direkomendasikan

adalah tidak kurang dari 2%⁽¹²⁾. Hasil pengukuran kadar ferit pada tiap spesimen dalam penelitian ini cukup aman dari *hot crack*, kecuali pada spesimen 1 dan 2 yang rentan akan terjadinya *hot crack* karena pada spesimen ini tidak memiliki ferrit.

Keberadaan jumlah ferit didalam suatu material harus dikontrol karena dapat mempengaruhi sifat lasannya itu sendiri. Pada umumnya kandungan δ-ferit pada hasil lasan *stainless steel* austenitik adalah 5–10%, apabila lebih dari 10% dapat mempengaruhi turunnya keuletan, kekuatan dan ketahanan korosi, sedangkan kandungan ferit dibawah 5% akan menyebabkan *crack* ketika lasan mengalami solidifikasi⁽¹⁰⁾. Estimasi konsentrasi ferit (*Ferrite Content*) adalah bentuk antisipasi awal untuk menghindari terjadinya cacat hasil lasan seperti *hot crack*.

Dari hasil pengujian korosi *pitting* didapat data seperti pada Tabel 10, sedangkan hasil uji korosi intergranular seperti pada Tabel 11.

Tabel 10 dan Tabel 11 adalah hasil pengujian korosi yang dilakukan terhadap material *cladding*. Dari tabel tersebut dihasilkan laju korosi *pitting* dan intergranular. Dari hasil pengujian korosi *pitting* dan intergranular, dihasilkan laju korosi yang paling mencolok yaitu pada spesimen 1 dan spesimen 2. Hal tersebut disebabkan pada spesimen 1 dan spesimen 2 tidak terdapat *ferrite content* berdasarkan perhitungan dengan menggunakan *schaeffler diagram*. Keberadaan ferrit didalam *stainless steel*

Tabel 9. Estimasi ferit content dengan menggunakan Schaeffler diagram berdasarkan komposisi kimia hasil spektrometri

No.	Schaeffler Chromium Equivalent (SCE)	Schaeffler Nickel Equivalent (SNE)	Schaeffler Diagram (%)
1A	21,55	17,37	0
1B	21,40	13,52	5
2A	21,11	15,64	0
2B	20,49	15,31	0
3A	21,81	15,81	2
3B	20,49	13,29	3
4A	21,88	15,29	4
4B	20,31	15,61	0
5A	21,95	14,01	5
5B	20,15	12,62	4
6A	22,12	14,69	5
6B	21,12	14,34	3
7A	22,14	14,45	5
7B	20,45	15,79	0
8A	22,17	14,51	5
8B	21,43	13,72	5

SCE : Schaeffler Chromium Equivalent { %Cr + %Mo + 1.5(%Si) + 0.5(%Nb)
 SNE : Schaeffler Nickel Equivalent { %Ni + 30(%C) + 0.5(%Mn)

Tabel 10. hasil uji korosi pitting

No.	Spesimen	Luasan (cm ²)	W (gram)			mm/bulan	mm/tahun
			W (awal)	W (akhir)	Hilang berat		
1	Spesimen 1	1,20	18,7291	18,5684	0,1607	1,69	20,28
2	Spesimen 2	1,26	20,0121	19,8598	0,1523	1,53	18,36
3	Spesimen 3	1,12	12,9412	12,8692	0,0720	0,81	9,72
4	Spesimen 4	1,19	18,1243	18,0422	0,0821	0,87	10,44
5	Spesimen 5	1,36	25,2114	25,0717	0,1397	1,30	15,60
6	Spesimen 6	1,12	13,2172	13,1692	0,0480	0,54	6,48
7	Spesimen 7	1,20	11,7874	11,6593	0,1281	1,35	16,20
8	Spesimen 8	1,12	13,4254	13,3458	0,0796	0,89	10,79

Tabel 11. hasil uji korosi intergranular.

No.	Spesimen	Luasan (cm ²)	W (gram)			mm/month	mm/tahun
			W (awal)	W (akhir)	Hilang berat		
1	Spesimen 1	1,12	12,7314	10,5936	2,1378	36,23	434,76
2	Spesimen 2	1,20	17,0234	14,9361	2,0873	33,02	396,24
3	Spesimen 3	1,36	20,1312	19,0292	1,1020	15,38	184,56
4	Spesimen 4	1,12	13,1256	11,8595	1,2661	21,46	257,52
5	Spesimen 5	1,26	18,2413	16,6052	1,6361	24,65	295,80
6	Spesimen 6	1,20	16,7089	15,6832	1,0257	16,22	194,64
7	Spesimen 7	1,19	15,1413	13,5725	1,5688	25,03	300,36
8	Spesimen 8	1,12	11,9812	10,7925	1,1887	20,15	241,80

sangatlah penting. Apabila jumlah ferrit didalam spesimen *cladding* kurang dari 2% (<2% ferit) maka spesimen tersebut akan rentan terhadap *hot crack* dan korosi.

Selain *ferrite content*, spesimen 1 dan 2 memiliki dilusi yang cukup besar, sehingga berpengaruh terhadap komposisi kimia unsur paduan dan konsentrasi karbon. Dengan semakin besar dilusi maka akan besar pengaruhnya terhadap komposisi kimia material *cladding*. Dilusi yang tinggi dapat menyebabkan difusi, sehingga akan terjadi pengendapan karbida krom di daerah dekat sepanjang batas butir. Dengan semakin banyaknya karbida krom yang terbentuk disepanjang batas butir, akan menyebabkan material tersebut rentan terhadap korosi. Makin tinggi dilusi dari material maka akan mengakibatkan

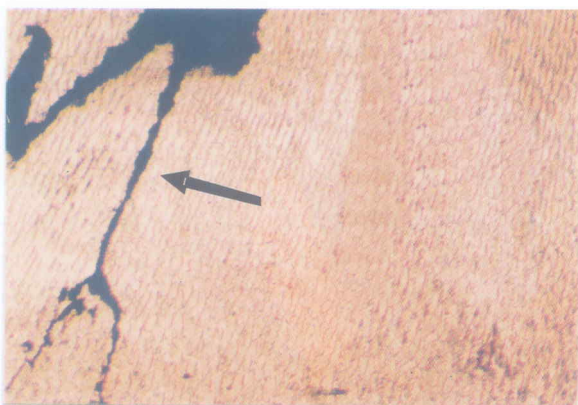
perubahan komposisi kimia, yang akhirnya akan terbentuk suatu senyawa presipitat dalam bentuk karbida krom (Cr₂₃C₆) pada daerah batas butir. Terbentuknya karbida krom di batas butir diikuti dengan perbedaan energi potensial antara batas butir dengan matriks butir dan akan terjadi korosi sepanjang batas butir tersebut, sehingga terjadi korosi intergranular seperti pada Gambar 5.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil uji komposisi kimia pada spesimen 1 dan 2 menghasilkan konsentrasi karbon yang paling tinggi yaitu di atas 0,03%. Hal ini disebabkan karena dilusi yang tinggi pada logam las (> 40 %), dan dengan konsentrasi karbon yang tinggi akan menyebabkan semakin banyak karbida krom yang terbentuk sehingga semakin besar energi potensial yang akan menyebabkan terjadinya korosi pada material tersebut (laju korosi spesimen 1 dan 2 paling tinggi).
2. Hasil perhitungan *ferrite content* dengan menggunakan diagram *schaeffler*, menunjukkan pada spesimen 1 dan 2 tidak memiliki *ferrite* sehingga tidak menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (0-2% ferrite). Dengan harga *ferrite content* 0-2% akan menyebabkan terjadinya *hot crack*. Lapisan *cladding*



Gambar 5. Struktur mikro dengan arah melintang setelah dilakukan proses korosi, tanda panah menunjukkan intergranular korosi, 200x

- yang optimal yaitu yang memiliki harga *ferrite content* antara 3-5% *ferrite*.
3. Pada *heat input* yang konstan dan variasi jarak *nozzle*, dihasilkan dilusi yang berbeda-beda. Dilusi tertinggi (>35%) dihasilkan dari *heat input* sebesar 172,125 J/cm (36 V, 225 A, 40 cm/min) dengan jarak *nozzle* 26 dan 30 mm. Dilusi yang tinggi tidak menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (0-2% ferit), namun ternyata jarak *nozzle* 38 mm menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (\pm 5% ferit). Pada *heat input* sebesar 143,4375 J/cm (30 V, 225 A, 40 cm/min), jarak *nozzle* 26, 30, 34, 38 mm seluruhnya dapat menghasilkan lapisan *cladding* yang optimal (\pm 5% ferit).
 4. Laju korosi *pitting* yang optimal terjadi pada spesimen 3 dan 6 dengan laju korosi 9,72 mm/tahun dan 6,48 mm/tahun. Hal ini disebabkan dilusi yang dimiliki oleh spesimen tersebut sangat rendah (<25%). Dengan semakin rendah dilusi suatu material maka korosi yang terjadi semakin kecil.
 5. Hasil yang optimal dari pengujian korosi intergranular ini pada spesimen 3 dan 6 dengan laju korosi sebesar 184,56 mm/tahun dan 194,64 mm/tahun. Hal ini seiring dengan semakin turunnya dilusi dari spesimen *cladding* tersebut.

Saran

1. Perlu dilakukan pengujian komposisi kimia pada setiap lapisan *cladding* dengan metoda EDAX sehingga didapatkan hasil yang sangat akurat.
2. Dalam aplikasi di industri jumlah lapisan *cladding* minimum 3 lapisan untuk mendapatkan sifat yang sama dengan kawat lasnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Denny E. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Macmillan Publishing company, 1991.
2. Folkhard, Erich, "Welding Metallurgy of Stainless Steel", Springer-Verlag Wien, New York, 1988.
3. Seferian, D, "The Metallurgy of Welding", John Wiley, New York, 1962.
4. Welding Institute of Canada, Module 22, "Welding Metallurgy of Stainless Steel", Module 39, "Welding Mechanics", Graville Associates Inc, Otario, 1986.
5. ASM Stainless Steel, "Stainless Steel Cladding and weld Overlays", 1988.
6. Sedriks, A.John, "Corrosion of Stainless Steel", John Wiley & Sons, 1979.
7. Pecker, D. and Bernstein, I.M, (ed), "Handbook of Stainless steel", McGraw-Hill, New York, 1997.
8. Sindo kou, "Welding Metallurgy", John Wiley & Sons, 1987.
9. J.C. Lippold and W.F. Savage, "Solidification of Austenitic Stainless Steel Weldments : Part I-A Proposed Mechanism", Welding Journal, December 1979.
10. ASTM A 262, "Standart Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steel", ASTM International, 2003.
11. Jonathan S. Ogborn, "Submerged Arc Welding", The Lincoln Electric Company.
12. N. Murugan and R.S. Parmar, "Effect of Welding Conditions on Microstructure and Properties of Type 316 L Stainless Steel Submerged Arc Welding", Welding Journal, May 1997.
13. ASTM G 48, "Standart Test Methodes for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steel and Related Alloys by Used of Feric Chloride Solution", ASTM International, 2002.
14. Satya Mauliddin, Danny, "Efek Kondisi Pengelasan Pada Struktur Mikro Stainless Steel 316 L Dalam Proses Las Cladding Dengan Las Busur Rendam (SAW)", Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung, 2002.
15. J.K.Lai and J.R. Haigh, "Delta-Ferrite Transformation in a Type 316 Weld Metal", Welding Journal, January 1979.
16. J.R. Davis, David & Associates, "Hardfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining", AWS Handbook.
17. B.J. Moniz, "Metallurgy", John Wiley & Sons.
18. Nickel Development Institute (NiDI).
19. William F. Smith, "Principles of Materials Science and Engineering", McGraw Hill, 1996.
20. "The Procedure Handbook of Arc Welding", The Lincoln Electric Company.