

ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN PENGELASAN LOGAM BESI TAHAN KARAT (SA 213T2) DENGAN BAJA KARBON (SS 304 H)

N S SYAFEI *, D HIDAYAT, N ROHADI, A TRISANTO

*Electrical Engineering Department, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat,*

**email : n.suhendi@unpad.ac.id*

Abstrak. Pengelasan dua metal yang berbeda yaitu tabung pipa SS 213 T22 dan tabung pipa SA 304 H dilas dengan menggunakan bahan lasan (filler), dimana bahan ini diperoleh sudah dalam keadaan terlepas. Berdasarkan hasil uji kekerasan metal SS 213 T22 adalah 214,8667 HB (menurut literatur 163 HB), hasil uji kekerasan metal SA 304 H adalah 174,9333 HB (menurut literatur 92 HB) maka dari hasil uji kekerasan ternyata makin keras. Hasil uji komposisi diperoleh untuk metal SS 213 T22 dan metal SA 304 H seperti pada tabel 5, sedangkan menurut literatur metal SS 213 T22 seperti pada tabel 6 dan metal SA 304 H seperti pada tabel 7. Hasil uji mikrostruktur metal SS 213 T22 seperti pada gambar 7 dan metal SS 304 H seperti pada gambar 9 bahwa pada kedua metal tersebut terjadi peristiwa korosi retak tegangan transgranular dan intergranular. Karena kekerasan semakin keras dan terjadi peristiwa korosi retak tegangan, maka metal SA 304 H terlepas dari lasan (filler) karena metalnya semakin getas dan terjadi korosi retak tegangan transgranular dan intergranular.

Kata kunci: Pipa boiler, Prose pemanasan, Korosi retak tegangan

Abstract. Welding of two different metals (welding dissimilar metals) namely SS 213 T22 tube pipe and SA 304 H pipe tube is welded using a filler material, where this material is obtained already in the detached state. Based on the results of the SS 213 T22 metal hardness test is 214.8667 HB (according to literature 163 HB), the SA 304 H metal hardness test result is 174.9333 HB (according to 92 HB literature), so the hardness test results are even harder. The composition test results were obtained for SS 213 T22 metal and 304 H SA metal as in table 5, whereas according to literature SS 213 T22 metal as in table 6 and SA 304 H metal as in table 7. The results of the microstructure test of SS 213 T22 metal as shown in Figure 7 and SS 304 H metal as shown in Figure 9 show that occur stress corrosion cracking trans-granular and intergranular in both metals. Because the hardness gets harder and the stress cracking event occurs, the SA 304 H metal is released from the welds (filler) because the metal is brittle and the corrosion cracks occur trans-granular and intergranular.

Keywords: Boiler pipe, heating process, stress corrosion cracking

1. Pendahuluan

Pada umumnya dalam sambungan dua metal akan mengalami lepas diantara kedua sambungan logam tersebut, dan bila berada di udara yaitu akan terjadi korosi pada lasan akibat lingkungan sekitarnya meskipun sudah di coating (lapisan atau di cat). Bila logamnya berada di udara terbuka maka akan terjadi korosi akibat adanya zat-zat korosif di udara, misalnya adanya uap air, gas CO₂, gas H₂, gas H₂S dan zat korosif lainnya. Dan begitu pula bila ada dibawah tanah juga akan mengalami korosi akibat adanya zat korosif yang ada pada tanah, yaitu seperti yang berada di

udara. Bahwa fenomena peristiwa korosi itu tidak bisa dihindari pasti akan terjadi korosi, karena di alam baik di udara ataupun di dalam tanah bahwa zat yang korosif dan berbagai bakteri pemicu korosi. Pengelasan bahan metal untuk tabung pipa boiler di pembangkit tenaga listrik biasanya menggunakan stainless steel, dan bahan untuk mengelasnya adalah filler yang biasanya menggunakan bahan stainless steel. Adapun sampel bahan uji tabung pipa boilernya telah lepas, maka diuji kenapa sebabnya hingga sampai terlepas dari lasan.

Dari pengujian-pengujian pengelasan tak sejenis antara baja karbon dan baja tahan karat J4 dapat ditarik beberapa kesimpulan : 1. Penggunaan filler ER 309 L dan ER 70 S berpengaruh pada kekerasan **HAZ** karena terjadi penggetasan akibat endapan paduan krom. 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las dengan **filler** (logam bahan lasan) ER 309 L dan menggunakan arus sebesar 80 A mempunyai kekuatan tarik tertinggi yaitu 314,58 MPa, sedangkan sambungan las dengan **filler** ER 70 S dan menggunakan arus sebesar 60 A mempunyai kekuatan tarik terendah yaitu 281,83 Mpa. 3. Pengelasan tak sejenis antara baja karbon ST 37 dan baja tahan karat J4 lebih cocok menggunakan **filler metal** (logam bahan lasan) ER 309 L daripada ER 70 S. Hal ini dibuktikan dari distribusi kekerasan < 250 VHN [2].

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Pengelasan antara AISI 304 dan **AISI 1045** dengan kondisi/parameter yang dilakukan dalam penelitian ini memiliki hasil kualitas lasan cukup baik. b) Harga kekerasan tertinggi yaitu 238,5 HV terjadi pada **weld metal** dengan arus las 100 amp, dilanjutkan dengan pemanasan pada temperatur 450 °C selama 4 jam dan pendinginan di udara [1].

Kesimpulan yang bisa diperoleh dari pembahasan di atas adalah Pengelasan logam sejenis dengan ketebalan yang sama menghasilkan bentuk nugget yang simetris. Sedangkan pengelasan logam tak sejenis dengan ketebalan berbeda menghasilkan bentuk nugget tidak simetris (asimetris). Parameter pengelasan seperti arus listrik, lama waktu pengelasan dan acuan standar pengujian untuk logam sejenis tidak bisa digunakan pada pengelasan logam tak sejenis. Acuan yang digunakan dalam pengelasan logam tak sejenis adalah ukuran diameter nugget. Semakin besar ukuran diameter nugget hasil las semakin meningkat kekuatan gesernya [5].

Dalam tulisan ini, **friction stir welding** (FSW) digunakan untuk mengelas logam yang berbeda (Tipe 304 besi tahan karat (SS304) dan Q235 baja karbon rendah). Mikrostruktur, karakteristik antar muka, distribusi tegangan sisa dan sifat mekanik dari sambungan diselidiki. Hasil menunjukkan bahwa FSW menghasilkan perbaikan butir di zona aduk (SZ) dan zona yang dipengaruhi termal-mekanik (TMAZ) di sisi SS304. Rekristalisasi dinamis terputus dan rekristalisasi dinamis yang diinduksi oleh kembaran adalah mekanisme penyempurnaan butir utama. Pemulihan dinamis terjadi di zona yang terkena panas (**HAZ**). Pada sisi baja Q235, **ferit acicular** dan perlit dihasilkan dalam SZ, yang disebabkan oleh suhu puncaknya hingga Ac3. Selain itu, jumlah ferit asikular menurun di **TMAZ**. Rekristalisasi dinamis kontinu dan terputus-putus adalah mekanisme rekristalisasi utama di kedua wilayah. Mekanisme ikatan antar muka pada sambungan FSW terdiri dari ikatan mekanis dan metalurgi. Selain itu, perbedaan dalam koefisien ekspansi dan mikro antara kedua baja menghasilkan pembentukan tegangan tekan residual di **SZ**. Penyempurnaan butiran dan ferit asikuler bertanggung jawab atas distribusi kekerasan mikro di seluruh sambungan. Kekuatan tarik sambungan **FSW** adalah 493MPa, yang lebih dari baja Q235 sekitar 4%. Namun, perpanjangannya

adalah 17%, yang menunjukkan penurunan sekitar 50%. Selanjutnya, permukaan fraktur menunjukkan fraktur ulet dengan lesung pipit [6].

Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk mengkarakterisasi sifat dan struktur mikro baja tahan karat *AISI 316L* yang digunakan sebagai lapisan pada pengelasan lembaran baja karbon. Dua pelat baja karbon ditetapkan sebagai dasar logam dan lapisan stainless steel diaplikasikan pada manik las. Proses terapan yang digunakan adalah pengelasan busur terendam (SAW) dan tes dilakukan untuk kekuatan tarik dan kekerasan Vickers, selain pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik. Hasil menunjukkan bahwa lapisan besi tahan karat yang diterapkan pada manik las memberikan nilai kekuatan tarik yang relatif tinggi. Selain itu, nilai kekerasan menunjukkan bahwa bahan inovatif yang diselidiki dapat diterapkan di lingkungan korosif [7].

Perilaku kelelahan korosi dari logam yang berbeda dengan resistansi spot-weld dengan perbedaan ketebalan yang signifikan antara baja karbon dan besi tahan karat austenitic telah dipelajari. Baja karbon SS400 dengan ketebalan 3.0 mm dan 1.0 mm besi tahan karat austenitik SUS304 dipasangkan dengan menggunakan pengelasan titik resistansi. Kondisi pengelasan yang digunakan termasuk arus pengelasan, waktu pengelasan dan gaya elektroda masing-masing 4,7 kA, 20 siklus dan 6 kN. Uji kelelahan korosi dilakukan pada suhu kamar di lingkungan air laut dengan salinitas 34,5 g/L dan pH 8,0. Input gelombang sinusoidal dengan amplitudo tegangan konstan dipilih sedangkan rasio tegangan dan frekuensi yang digunakan masing-masing 0,1 dan 8 Hz. Tes kelelahan juga dilakukan di udara sebagai pembandingan. Eksperimen lain seperti pemeriksaan metalografi, pengukuran kekerasan mikro, uji elektrokimia dan evaluasi area nugget menggunakan radiografi neutron dilakukan untuk mendukung analisis. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan kelelahan korosi dari titik resistansi dilas dalam air laut lebih rendah daripada yang dilakukan di udara. Batas ketahanan kelelahan yang dilakukan di udara adalah 32,6 MPa sedangkan sampel kelelahan korosi pada tegangan ini gagal pada sekitar 400.000 siklus. Tampaknya mekanisme plastisitas yang disempurnakan oleh hidrogen yang cenderung memudahkan pembentukan dislokasi adalah penyebab melemahnya kekuatan kelelahan korosi [4].

Pelat berlapis *stainless steel* tebal digunakan secara luas dalam industri perminyakan dan petrokimia karena biayanya yang murah dan ketahanan korosi yang baik. Hal ini umumnya dilas oleh proses pengelasan multilayer dan multipass dengan logam pengisi stainless steel yang cocok dengan lapisan berpakaian *fillermetal* dianalisis dan dibandingkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zona pengerasan lokal (*LHZ*) terbentuk dalam lasan yang diisi dengan logam pengisi dari baja *stainless* dan baja karbon karena pembentukan fase martensit pada lapisan pertama lasan dengan logam pengisi baja karbon. Nilai kekerasan mikro dalam *LHZ* mencapai hingga 425 HV1, yang secara signifikan lebih tinggi dari logam dasar. Namun, nilai kekuatan tarik sambungan yang diisi dengan logam pengisi baja karbon adalah setara dengan sambungan dengan logam pengisi baja tahan karat. Hasil uji pembengkokan sisi menunjukkan bahwa *LHZ* menonjol dari lasan, dan retakan terjadi di dekat *LHZ* jika luas *LHZ* pada penampang sambungan lebih besar dari 17% dari luas penampang keseluruhan sambungan. Hasil yang dipelajari menunjukkan bahwa layak untuk menggunakan logam pengisi baja karbon untuk mengisi logam dasar baja karbon dalam pengelasan pelat baja tahan karat [10].

Stainless steel austenitik yang berbeda (AISI304L) dan baja *stainless* feritik (AISI430) telah dilas dengan dua jenis logam pengisi (316L dan 2594L) oleh

GTAW. Kemudian, efek perlakuan panas pada struktur mikro, sifat mekanik, dan sifat korosi dari sambungan las diselidiki. Karena untuk menghilangkan kromium karbida yang dibuat selama proses pengelasan dan menyeragamkan struktur mikro, perlakuan panas dilakukan pada seluruh rangkaian sampel pada 860°C dan 960°C. Mikrostruktur, penampang fraktur dan area korosif dari sampel diselidiki oleh SEM. Tes polarisasi tarik, lentur dan potensiodinamik digunakan untuk mengkarakterisasi kinerja mekanik dan korosi sampel. Hasil menunjukkan bahwa sambungan las memiliki sifat mekanik yang baik setelah perlakuan panas sehingga kekuatan tarik terbaik diperoleh pada 960°C. Karena mengurangi ukuran butir, sampel perlakuan panas menunjukkan ketahanan korosi minimum pada 960°C dibandingkan dengan 860 C [2].

Lasan baja yang berbeda antara baja karbon dan stainless diperlukan untuk pemanfaatan baja stainless yang efisien dalam konstruksi. Penilaian integritas struktural dari struktur yang dilas membutuhkan pertimbangan tegangan sisa yang diinduksi oleh lasan. Oleh karena itu, sangat penting untuk memperkirakan besarnya dan distribusi tegangan sisa pada sambungan las baja yang berbeda. Alat simulasi berdasarkan metode elemen hingga (FE) sangat berguna untuk memprediksi tegangan sisa pengelasan. Namun, reproduksi numerik tegangan sisa pada lasan baja yang berbeda umumnya lebih menantang daripada tegangan sisa pada lasan baja yang sama karena perbedaan sifat termo-fisik dan mekanik dari bahan yang akan disambungkan. Dalam karya ini, simulasi FE tiga dimensi dari proses pengelasan baja yang berbeda dilakukan untuk mengidentifikasi bidang suhu dan status tegangan sisa dalam sambungan baja *butt-welded* yang berbeda antara baja karbon dan baja tahan karat. Model FE termo-mekanis yang digunakan serta metodologi simulasi dirinci, dan hasilnya dibahas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan sisa pengelasan dalam lasan butt baja yang berbeda tidak berarti sama besarnya atau distribusi dengan yang di lasan butt (ujung) baja yang sama [15].

2. Metode Penelitian

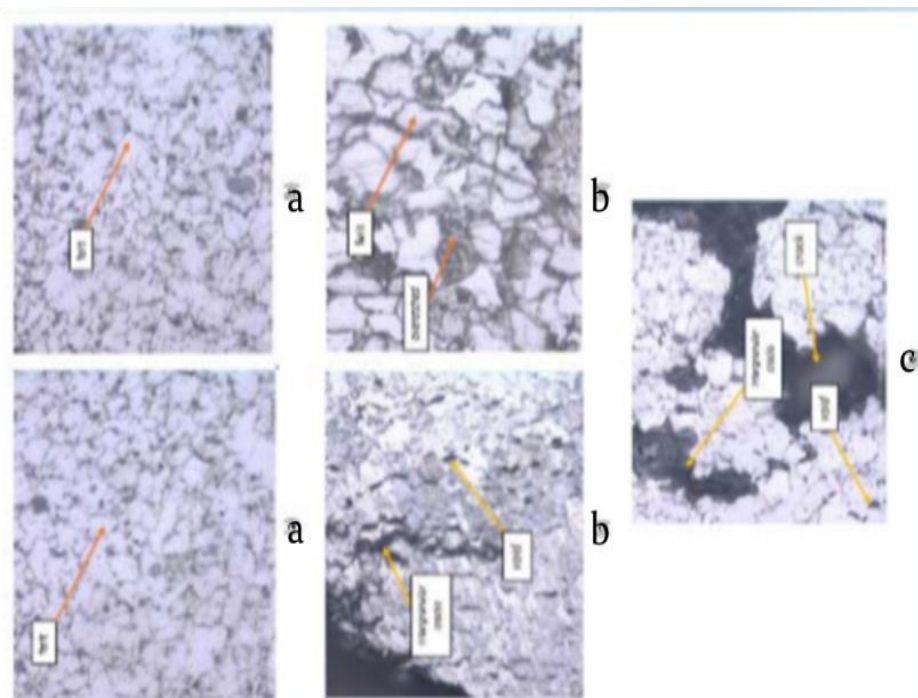
Bahwa pipa boiler yang diuji merupakan sambungan logam SA 213 T22 dengan logam SS 304 H kemudian dilas dengan logam *filler*, yaitu yang digunakan dalam boiler tetapi sudah lepas atau sudah putus seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pipa boiler

2.1 Peralatan dan Bahan

Bahan yang diuji adalah logam besi tahan karat SA 213 T22, logam baja karbon SS 304 H dan logam filler (logam bahan lasan/HAZ). Pengujian metalografi logam SA 213 T22 memiliki fasa ferit-perlit, dan dari struktur mikro diatas dapat dilihat bahwa fasa yang tampak berupa ferit. Fasa ferit ditampilkan dengan gambar terang, sedangkan fasa perlit terlihat dengan warna yang lebih gelap dan lamelar (struktur gelap-terang berlapis). Tetapi karena jumlah karbon yang sangat kecil, fasa perlit tidak tampak dalam Gambar 2(a), Gambar 2(b) dan Gambar 2(d). Warna gelap pada Gambar 2(d) merupakan bagian yang terkena etsa berlebih. Dari Gambar 2(c) dan Gambar 2(e) dapat terlihat bahwa pada material ini muncul void dan intergranular cracks seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Uji Metalografi (a) Bagian 1 pada perbesaran 500x; (b) Bagian 2 pada perbesaran 500x; (c) Bagian 2 pada perbesaran 500x; (d) Bagian 3 pada perbesaran 500x; (e) Bagian 3 pada perbesaran 500x [16].

Berdasarkan pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui distribusi dari kekerasan pada masing masing daerah pipa yang rusak. Pengujian ini dilakukan dengan standar kekerasan Rockwell dengan mengacu pada *ASTM E10*, dan hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata hasil uji kekerasan [9].

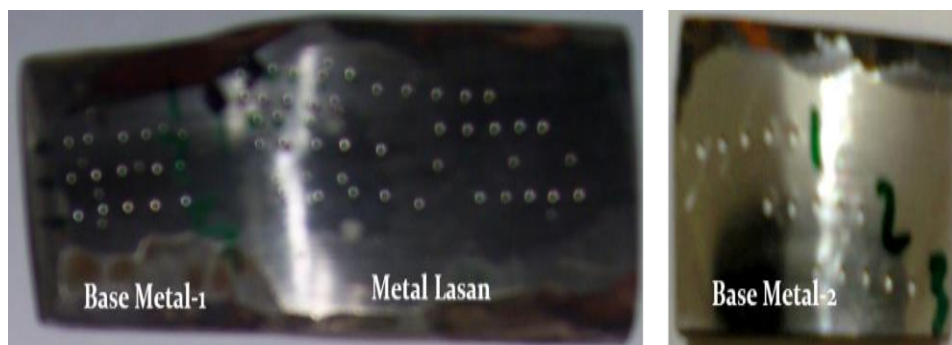
Material	ASTM A213 T11	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3
Hardness Rockwell Number rata-rata	85 HRB	52 HRB	49 HRB	25,5 HRG

Sampel kedua adalah logam baja karbon SS 304 H. Logam SS 304 H memiliki formabilitas atau daya pembentukan yang baik. Ini tentu sangat memudahkan pemanfaatannya di berbagai bidang. Tidak heran jika material ini bisa kita temukan dalam berbagai bentuk mulai dari peralatan dapur hingga kamar mandi. Selain mudah dibentuk, SS 304 juga bisa disatukan dengan proses pengelasan. Dikenal dengan nama lain baja tahan karat, material ini memiliki kandungan kromium yang membuat permukaannya tahan terhadap oksidasi. Akibatnya, barang-barang yang dibuat dengan SS 304 H tidak akan mudah berkarat. Perpaduan unsur kimia yang membentuk SS 304 menjadikan paduan ini mampu bertahan di dalam suhu ekstrem termasuk *cryogenic* (temperatur yang sangat rendah) [3].

Sampel ketiga adalah logam filler (logam bahan lasan/HAZ). Pada pengelasan selalu akan terjadi proses thermal yang dapat ditunjukkan dengan terjadinya perubahan struktur mikro pada daerah **HAZ** (*Heat Affected Zone*/daerah terpanas), daerah panas ini dipengaruhi oleh jenis material, input panas, dan kecepatan pendinginan. Kecepatan pendinginan seluruh permukaan terjadi tidak seragam, hal ini disebabkan karena pemberian panas terjadi hanya pada salah satu sisi saja, sehingga terjadi tegangan sisa pada daerah las.^[14] Baja karbon memiliki sifat mampu las yang baik. Baja jenis ini dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapan dan semua persyaratannya terpenuhi. Baja karbon memiliki kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau baja paduan. Retak las pada baja dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat atau bila di dalam baja tersebut terkandung belerang bebas yang cukup tinggi.

2.2 Pengujian Yang Digunakan

Metoda pengujian sampel yang digunakan terdiri dari uji kekerasan, uji komposisi dan uji mikrostruktur. Pengujian kekerasan tabung boiler seperti pada Gambar 1 maka diambil bagian base metal 1 (SA 213 T22) , logam lasan (filler) dan base metal 2(SS 304 H) seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Titik-titik uji kekerasan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan diperlihatkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Data Kekerasan Metal 1

No.	Pengujian	Nilai (HRB)	Konversi	
			HB	HV
1	I	96,3	218	230,8
	II	95,8	214	227,1
	III	96,4	218	231,6
	IV	96,3	218	230,8
	V	96,1	216	229,3
2	I	96,0	216	228,6
	II	95,9	215	227,9
	III	95,7	214	226,4
	IV	95,2	210	222,8
	V	95,0	209	221,4
3	I	95,7	214	226,4
	II	96,2	217	230,1
	III	95,9	215	227,9
	IV	95,9	215	227,9
	V	95,7	214	226,4

Tabel 2. Data kekerasan Metal Lasan

No.	Pengujian	Nilai (HRB)	Konversi		No.	Pengujian	Nilai (HRB)	Konversi	
			HB	HV				HB	HV
1	I	84,7	161	165,2	1	I	86,6	168	173,2
	II	85,2	163	167,2		II	86,7	168	173,7
	III	85,9	165	170,2		III	86,0	165	170,6
	IV	85,2	163	167,2		IV	87,7	172	178,3
	V	86,1	166	171,0		V	88,8	176	183,8
2	I	86,0	165	170,6	2	I	88,7	176	183,2
	II	87,2	170	176,0		II	88,0	173	179,8
	III	86,6	168	173,2		III	89,2	178	185,8
	IV	91,0	186	195,7		IV	89,2	178	185,8
	V	89,8	181	189,0		V	89,3	178	186,3
3	I	91,4	188	198,1	3	I	88,1	173	180,3
	II	91,2	187	196,9		II	99,1	178	185,3
	III	91,1	187	196,3		III	90,1	182	190,6
	IV	91,2	187	196,9		IV	89,9	181	189,5
	V	87,4	171	176,0		V	90,5	184	192,9

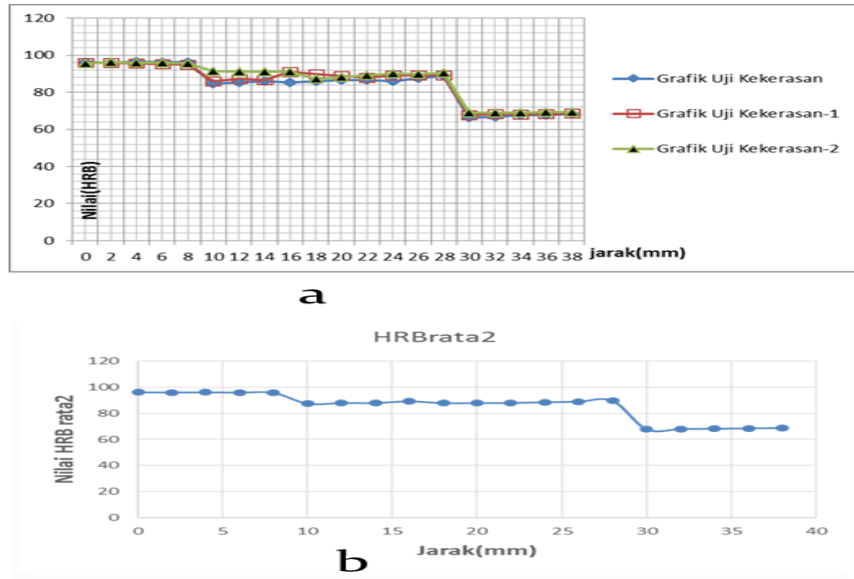
Tabel 3. Data kekerasan Metal 2

No.	Pengujian	Nilai (HRB)	Konversi	
			HB	HV
1	I	66,5	120	119,5
	II	66,7	120	119,8
	III	67,6	122	121,3
	IV	67,6	122	121,3
	V	68,2	123	122,4
2	I	67,8	122	121,6
	II	68,2	123	122,3
	III	68,1	122	122,1
	IV	68,5	123	122,8
	V	68,7	124	123,1
3	I	68,9	124	123,5
	II	68,9	124	123,5
	III	68,9	124	123,5
	IV	69,3	125	124,2
	V	69,4	125	124,3

Data antara jarak antara titik uji kekerasan metal seperti ditunjukkan pada Tabel 4, dan grafiknya seperti pada Gambar 4.

Tabel 4. Data jarak titik metal

No	Jarak (mm)	Nilai (HRB)	Nilai (HRB)	Nilai (HRB)	HRBrata2	Jarak (mm)	HRBrata2
	0	96.3	96	95.7	96	0	96
Metal 1	2	95.8	95.9	96.2	95.96666667	2	95.966667
	4	96.4	95.7	95.9	96	4	96
	6	96.3	95.2	95.9	95.8	6	95.8
	8	96.1	95	95.7	95.6	8	95.6
	10	84.7	86	91.4	87.36666667	10	87.366667
	12	85.2	87.2	91.2	87.86666667	12	87.866667
	14	85.9	86.6	91.1	87.86666667	14	87.866667
	16	85.2	91	91.2	89.13333333	16	89.133333
Lasan	18	86.1	89.8	87.4	87.76666667	18	87.766667
	20	86.6	88.7	88.1	87.8	20	87.8
	22	86.7	88	89.1	87.93333333	22	87.933333
	24	86	89.2	90.1	88.43333333	24	88.433333
	26	87.7	89.2	89.9	88.93333333	26	88.933333
	28	88.8	89.3	90.5	89.53333333	28	89.533333
	30	66.5	67.8	68.9	67.73333333	30	67.733333
	32	66.7	68.2	68.9	67.93333333	32	67.933333
	34	67.6	68.1	68.9	68.2	34	68.2
	36	67.6	68.5	69.3	68.46666667	36	68.466667



Gambar 4. (a) Grafik jarak titik uji dan kekerasan setiap metal, (b) Grafik jarak titik uji dan rata-rata kekerasan setiap metal..

3.2 Uji Komposisi

Dan hasil dari uji komposisi untuk metal 1 (SA 213 T22), logam lasan(Filler) dan metal 2 (SS 304 H) seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Metal 1(SA 213 T22), Metal Lasan(Filler) dan Metal 2(SS 304 H)

Komposisi Metal-1(SS 304 H)		Komposisi Lasan		Komposisi Metal-2 (SA 213 T22)	
Unsur	(%)	Unsur	(%)	Unsur	(%)
C	0,008114	C	0,08024	C	0,18171
Si	0,48539	Si	0,54593	Si	0,22904
S	0,00575	S	0,00859	S	0,017
P	0,02088	P	0,02537	P	0,01237
Mn	181,143	Mn	239,407	Mn	0,45988
Ni	1,026,827	Ni	1,616,059	Ni	0,1142
Cr	1,866,966	Cr	186,766	Cr	222,214
Mo	0,1068	Mo	0,10223	Mo	0,89321
V	0,05429	V	0,05442	V	0,00659
Cu	0,11239	Cu	0,11595	Cu	0,14317
W	0,00372	W	0,01537	W	0,00964
Ti	0,00393	Ti	0,05806	Ti	0,00237
Sn	0,00655	Sn	0,00623	Sn	0,00877
Al	0,02025	Al	0,02027	Al	0,02337
Nb	0,00897	Nb	0,19023	Pb	0,0027
Fe	6,834,056	Fe	6,154,583	Sb	0,00829

Tabel 6. Komposisi SA 213 T22 [11].

Komposisi Metal SA213 T22 (%)	
C	0.05 - 0.15
Mn	0.30 - 0.60
P	0.025 max
S	0.025 max
Si	0.50 max
Cr	1.90 - 2.60
Mo	0.86 - 1.13

Tabel 7. Komposisi SS 304 H

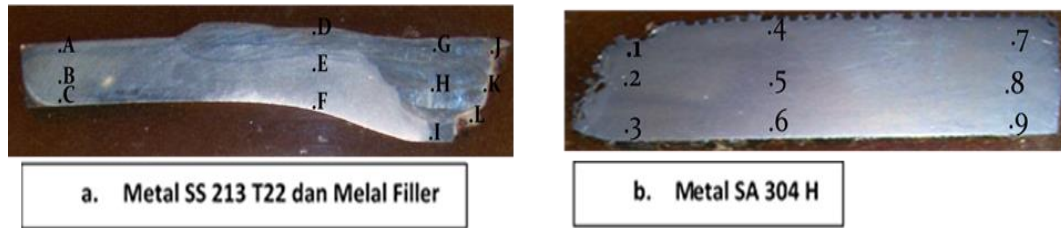
%	304	304L	304H
C	0,0-0,07	0,0 -0,03	0,04-0,08
Mn	0,0-2,0	0,0-2,00	0,0-2,0
si	0,0-1,00	0,0-1,00	0,0-1,0
P	0,0-0,05	0,0-0,05	0,0-0,04
S	0,0-0,03	0,0-0,02	0,0-0,02
cr	17,50-19,50	17,50-19,50	17,00-19,00
Ni	8,00-10,50	8,00-10,50	8,00-11,00
Fe	Keseimbangan	Keseimbangan	Keseimbangan
N	0,0-0,11	0,0-0,11	0,0-0,10

Tabel 8. Komposisi Lasan/Filler (HAZ)

Komposisi Logam Filler (%)	
C	0,08
Cr	18,0 - 21,0
Ni	9,0 - 11,0
Mo	2,0 - 3,0
Mn	0,5 -2,5
Si	1,0
P	0,04
S	0,03
N	-
Cu	0,5

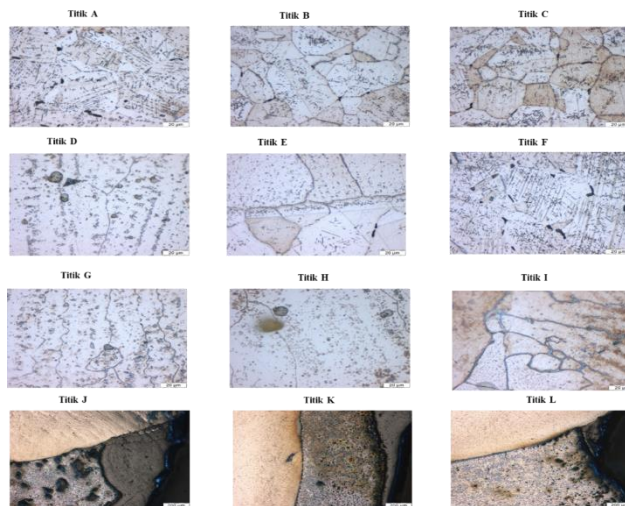
3.3 Uji Mikrostruktur

Sampel seperti pada Gambar 1 diuji mikrostruktur untuk setiap logam seperti ditunjukkan pada Gambar (5.a) dan Gambar (5.b), yaitu dilihat mikrostrukturnya disetiap titik baik di Gambar (5.a) maupun di Gambar (5.b).

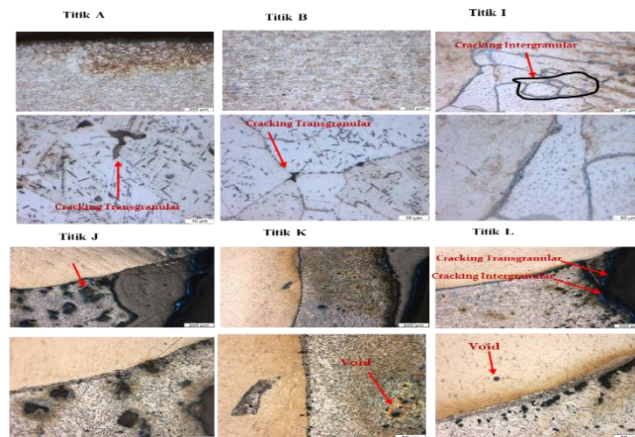


Gambar 5. (a) Metal SS 213 T22, dan (b) Metal SA 304 H

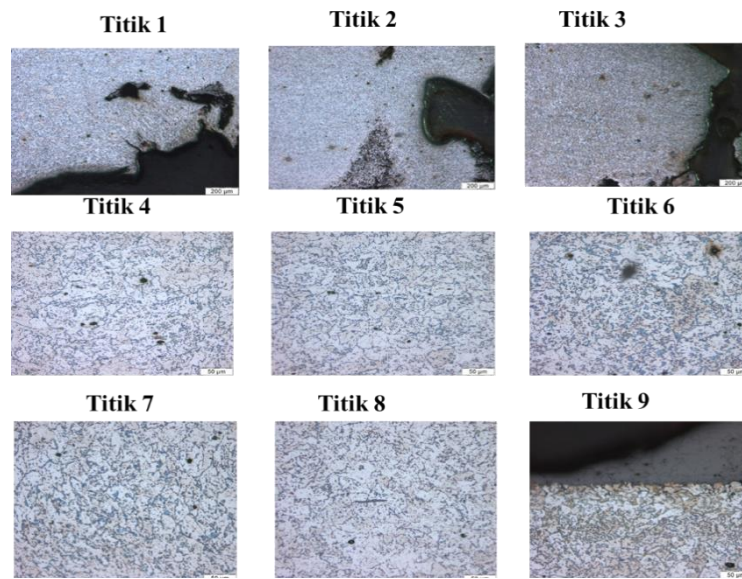
Hasil uji mikrostruktur untuk Gambar (5.a) seperti pada Gambar 6 untuk hasil mikrostruktur dari Gambar (5.a) dan gambar 8 untuk hasil mikrostruktur dari Gambar (5.b). Sedangkan analisa hasil mikrostruktur metal SS 213 T22 dan Metal Filler seperti pada Gambar 7, dan analisa hasil mikrostruktur metal SA 3034 H seperti pada Gambar 9.



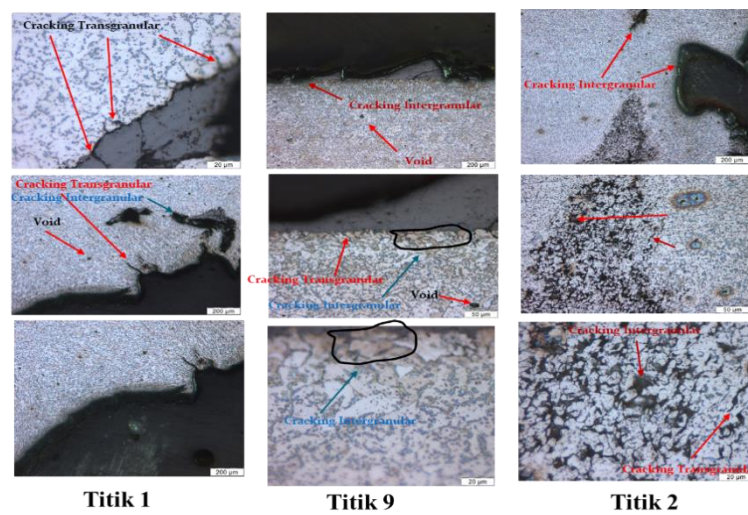
Gambar 6. Hasil mikrostruktur Metal SS 213 T22 dan Metal Lasan(Filler)



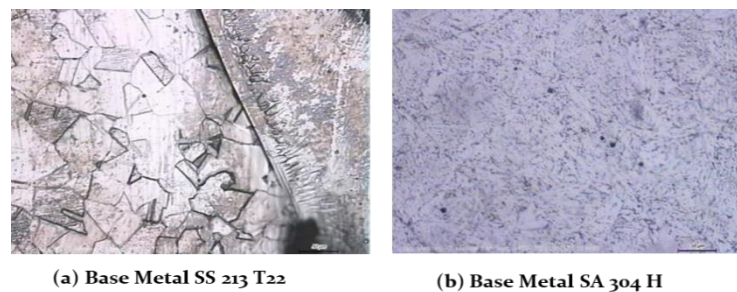
Gambar 7. Analisa Hasil mikrostruktur Metal SS 213 T22 dan Metal Lasan(Filler)



Gambar 8. Hasil Mikrostruktur Metal SA 304 H



Gambar 9. Analisa Hasil Mikrostruktur Metal SA 304 H



Gambar 10. (a) Mikrostruktur Metal SS213T22,(b) Mikrostruktur Metal SS304H

Berdasarkan data pada Tabel 4 nilai kekerasan untuk metal SA 213 T22, metal SS 304H dan metal lasan diperoleh harga kekerasan rata-rata, yaitu sebagai berikut :

Rata-rata nilai kekerasan metal 2 (SS 304H) adalah 68.02 HRB atau 122.8667 HB atau 122.2133 HV, metal 1 (SA 213 T22) adalah 95.85333 HRB atau 214.8667 HB atau 227.6933 HV dan metal Lasan adalah 88.61333 HRB atau 174.9333 HB atau 181.6833 HV.

Menurut literature bahwa metal SA 213 T22 besarnya kekerasannya adalah 163 HB [10], dan Metal SS 304H besarnya 92 HRB max.

Komposisi kimia untuk metal SS 213 T22, metal lasan(filler) dan metal SA 304 H berdasarkan hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 6, dan komposisi kimia SA 213 T22 menurut ASTM seperti pada tabel 6, komposisi kimia SS 304 H seperti pada Tabel 7 dan komposisi metal lasan/Filler(HAZ) seperti pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil uji mikrostruktur seperti pada Gambar 7 pada metal SS 213 T22 terjadi peristiwa korosi retak tegangan transgranular dan intergranular, dan pada ujung sambungan lasan terjadi korosi retak tegangan intergranular dan intergranular serta terdapatnya void. Berdasarkan hasil uji mikrostruktur pada metal SS 304 H seperti pada Gambar 8 terjad peristiwa korosi retak tegangan transgranular, korosi retak tegangan intergranular serta terdapat void. Dan ini dikarenakan akibat proses pemanasan pada metal SS 304 H maka terjadi peristiwa korosi retak tegangan, dan begitu pula pada metal SS 213 T22 dan metal lasan(filler) terjadi juga peristiwa korosi retak tegangan akibat terjadinya proses pemanasan.

Dan akibat adanya proses pemanasan pada metal SS 213 T22, metal lasan (filler) dan metal SA 304 H terjadi proses meningkatnya kekerasan, tetapi karena ketahanan panas pada metal SA 304 H lebih rendah daripada ketahanan panas pada metal SS 213 T22 dan metal lasan(filler) maka akibatnya metal SS 304 H terpisah atau putus dari sambungan lasannya. Dengan meningkatnya kekerasan bahan metal tetapi metal tersebut akan semakin getas akibat adanya proses pemanasan, dan akibatnya pada metal tersebut juga terjadi peristiwa korosi retak tegangan

4. Kesimpulan

Bahwa tabung pipa boiler yang dibuat dengan cara mengelas dua metal yang berbeda antara metal SS 213 T22 dan metal SA 304 H dengan menggunakan metal lasan (filler) ternyata metal SA 304 H terlepas diakibatkan adanya proses pemanasan yang cukup lama, dan diantara metal tersebut bahwa metal SA 304 H lebih rendah nahan panasnya daripada metal SS 213 T22 dan metal lasan (filler). Sedangkan kekerasan SS 213 T22 menurut literature 163 HB membesar menjadi 214,8667 HB, dan kekerasan SA 304 H menurut literature 92 HB menjadi 174,9333 HB. Dengan melihat hasil uji kekerasan maka metal SS 213 T22 dan metal SS 304 H makin meningkat kekerasannya, dan akibatnya makin getas akibat proes pemanasan.

Dengan melihat hasil mikrostruktur metal SS 213 T22 terjadi depormasi akibat adanya pemanasan seperti ditunjukkan pada Gambar (10.a) dengan Gambar (6)[pada titik A,B,C,E dan F], dan begitupula metal SA 304 H mengalami depormasi seperti ditunjukkan pada Gambar (10.b) dan gambar (8)[pada titik 4,5,6,7 dan 8.

Dan akibat pemanasan tabung pipa boiler ternyata berdasarkan hasil uji mikrostruktur metal SS 213 T22 peristiwa korosi retak tegangan transgranular dan

korosi retak tegangan intergranular seperti pada Gambar (7), begitupula metal SA 304 H juga terjadi peristiwa korosi retak tegangan transgranular dan intergranular seperti pada Gambar 9.

Maka karena proses pemanasan tabung pipa boiler mengakibatkan metal SS 304 H terlepas dari metal SS 213 T22 dan lasan(filler) adalah : (a) metal SS 304 H lebih getas, (b) terjadinya peristiwa korosi retak tegangan transgranular dan intergranular.

Daftar Pustaka

1. B. T. Baroto, P. H. Sudargo, "Pengaruh arus listrik dan filler pengelasan logam berbeda baja karbon rendah (ST 37) dengan baja karbon tahan karat (AISI 316L) terhadap sifat mekanis dan struktur mikro", Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017 ISBN: 978-602-1180-50-1.
2. C. Li, G. Qin, Y. Tang, B. Zhang, S. Lin, P. Geng, Microstructures and mechanical properties of stainless steel clad plate joint with diverse filler metals, *Journal of Materials Research and Technology*, available online 6 january 2020.
3. C. Hyung, L. Kyong, H. Chang, Temperature fields and residual stress distributions in dissimilar steel butt welds between carbon and stainless steels, *Applied Thermal Engineering Volumes 45–46*, December 2012, Pages 33-41.
4. F. S. da Luz, W. A. Pinheiro, S. N. Monteiro, V. S. Candido, A. C. Rios da Silva, Mechanical properties and microstructural characterization of a novel 316L austenitic stainless steel coating on A516 Grade 70 carbon steel weld, *Journal of Materials Research and Technology volume 9*, january-february 2020, pages 636-640.
5. Haikal, Triyono, "Studi literature pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat fisik dan mekanik pad alas titik (Resistance spot welding)", ROTARI, Vol. 15, No. 2, April 2013: 44–54J. Zhang, X. Wang, K. Kito, *Effect of Heating Temperature on Strength of Rice Straw Bio-Board*, *Journal of Environmental Conservation Engineering*, Vol. 45, Issue 7 (2016), p. 377-384.
6. H. Ma, G. Qin, P. Geng, F. Li, B. Fu, X. Meng, Microstructure characterization and properties of carbon steel to stainless steel dissimilar metal joint made by friction welding", *Material & Design*, volume 86, 5 december 2015, pages 587-597.
7. H. Wang, K. Wang, W. Wang, L. Huang, P. Peng, H. Yu, "Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welded type 304 austenitic stainless steel to Q235 low carbon steel", *Materials characterization volume 155*, September 2015, 109803.
8. H. Mirza, M. Ali, M. N. Mahmud; "Analisis Kegagalan Daerah Lasan Pipa Stainless Steel Sebagai Media Reboiler Pabrik Pupuk" *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII)*, Depok 15 – 16 Oktober 2014.
9. Jamasri, M.N.Iلمان, R. Soekrisno, Triyono, Corrosion Fatigue Behavior of Resistance Spot Welded Dissimilar Metal Welds between Carbon Steel and Austenitic Stainless Steel with Different Thickness, *Procedia Engineering volume 10*, 2011, pages 649-654.
10. J. Adrian, N. Latif, L. Noerochim, B. A. Kurniawan, Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit

Listrik Tenaga Uap, JURNAL TEKNIK ITS VOL.5, No.2, (2016) ISSN:2337-3539 (2301-9271 Print.

11. Kusmayadi, B. Agung K, 2008, Analisa Hasil Pengelasan smaw ButtJoint pada Baja Aisi 1020 dengan variasi tebal plat, Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
12. M. A. Irfai, “Analisa Variasi arus listrik lasan mig terhadap kekuatan impak dan struktur mikro sambungan lasan baja tahan karat AISI 304”, Otopro Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, Vol. 10. No. 2. Mei 2015, ISSN. 1858-411X.
13. P. H. Sudargo, Triyono, K. Diharjo, “Pengaruh filler dan arus listrik terhadap sifat mekanik sambungan GMAW logam tak sejenis antara baja karbon dan J4”, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
14. S. Ghorbani, R. Ghasemi. R. Ebrahimi, Kahrizsangi, A. Hojjati, Najafabadi, Effect of post weld heat treatment (PWHT) on the microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of dissimilar stainless steels, Materials Science and Engineering: A volume 688, 14 march 2017, pages 470-479.
15. S. Nugroho, W. Sudiarso, “Pengaruh PWHT dan Preheat pada Kualitas Pengelasan Dissimilar Metal antara Baja Karbon (A-106) dan Baja Tahan Karat (A312 TP-304H) dengan Filler Metal Inconel 82”, ROTASI Jurnal Teknik Mesin, Vol. 14, No. 1, Januari 2012: 16–20.