

Pengaruh ketebalan logam pengisi terhadap sifat-sifat mekanik dan struktur mikro sambungan *silver-brazing*

Kusharjanto

Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik-Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Penggunaan logam pengisi berbentuk lembaran tipis masih belum banyak diketahui oleh para praktisi di lapangan untuk proses brazing. Penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik (kekuatan tarik-geser dan kekerasan) dan perubahan struktur mikro pada sambungan lap-joint dengan memvariasikan ketebalan logam pengisi. Bahan yang digunakan sebagai logam induk adalah stainless steel AISI 304 dan logam pengisi paduan perak.

Proses brazing yang menggunakan furnace brazing dilakukan pada temperatur 850C. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa semakin tebal logam pengisi terjadi penurunan kekuatan tarik-geser sambungan. Kekuatan tarik-geser terbesar diperoleh pada tebal lapisan t_1 (0,03 mm atau 30 m) = 6,223 kg/mm². Sedangkan kekerasan tidak mengalami perubahan yang signifikan, harga kekerasan logam induk berkisar 232,6 HV, antarmuka 161, 8 HV dan logam pengisi 34,5 HV. Terjadi penurunan ketebalan logam pengisi akibat adanya logam pengisi yang keluar dari daerah sambungan saat pencairan. Rata-rata penurunan ketebalan sebesar 11% dari tebal awal. Pemeriksaan struktur mikro dengan mikroskop metalurgi dan SEM-EDS menunjukkan bahwa di logam induk dan di daerah antarmuka sambungan tidak berubah (fasa austenit), sedangkan pada daerah sambungan berfasa dendrit sebagai akibat logam pengisi mencair dan kemudian membeku. Tidak terjadi difusi atom-atom dari unsur-unsur yang terdapat dalam logam pengisi.

Kata kunci: *silver-brazing, ketebalan logam pengisi, baja tahan karat austenitik, sifat-sifat mekanik dan struktur mikro.*

1 Pendahuluan

Brazing menjadi salah satu alternatif proses penyambungan bagi logam-logam yang mempunyai sifat mampu las rendah karena pencairan hanya terjadi pada logam pengisi saja. Logam pengisi berbentuk batang kawat sangatlah dikenal atau umum dipakai oleh para juru las, tetapi mempunyai keterbatasan karena daerah yang tersambung hanya bagian tertentu saja. Agar daerah yang akan disambung dapat seluruhnya tersambungkan, maka bentuk logam pengisi haruslah berbentuk selain batang kawat. Saat ini logam pengisi berbentuk lembaran mulai digunakan karena dapat mengisi seluruh daerah yang akan disambung.

Logam pengisi lembaran mempunyai ketebalan tertentu, sehingga perlu diketahui seberapa tebal lembaran logam pengisi mempunyai sifat-sifat mekanik yang maksimum (kekuatan tarik-geser dan kekerasan), struktur mikro pada daerah sambungan dan perubahan ketebalan setelah proses *brazing*.

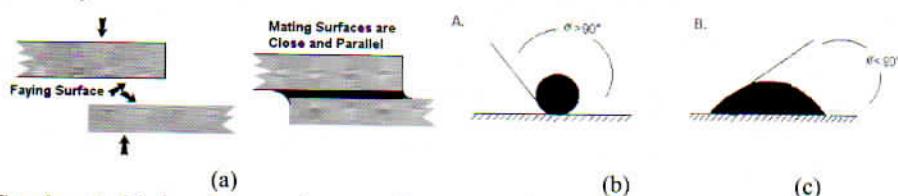
2 Brazing

Brazing⁽²⁾ adalah suatu proses penyambungan dua atau lebih logam oleh logam pengisi dengan

memanaskan daerah sambungan diatas 450C (temperatur cair logam pengisi) tanpa mencairkan logam induknya. *Daniel Kay*⁽³⁾ menyatakan bahwa *brazing* adalah proses penyambungan unik yang telah terbukti merupakan metoda yang paling berguna untuk menyambungkan material yang berbeda seperti logam atau keramik.

Seperti halnya pada pengelasan, *brazing* menghasilkan ikatan metalurgi diantar-muka logam induk dan logam pengisi. Ikatannya dipengaruhi oleh beberapa hal⁽⁷⁾, 1) celah (*gap*) yang tepat, 2) kebersihan logam induk, 3) fluks, 4) persiapan komponen yang akan disambung, 5) proses *brazing* dan 6) pembersihan setelah disambung.

Selama proses berlangsung jarak celah antara logam induk harus dijaga agar aksi kapiler dapat bekerja dengan baik. Aksi kapiler dari logam pengisi yang mengalir mengisi daerah sambungan/celah dipengaruhi oleh sifat mampu basah (*wettability*) logam pengisi dan fluks. *Wettability* merupakan faktor utama yang menyebabkan adanya tegangan permukaan (*surface tension*) antara logam induk dan logam pengisi (gambar 1).



Gambar 1. (a) daerah permukaan sambungan; sudut *wetting*; (b) *wettability* rendah (*wettability* tinggi⁽³⁾).

Aksi kapiler akan bekerja dengan baik saat permukaan logam bersih dari kotoran, seperti adanya lapisan oli, gemuk, karat dan kerak. Adanya oli akan menyebabkan fluks terhalangi. Pada saat pemanasan oli atau gemuk akan terbakar dan menghasilkan lapisan film oksida yang mengakibatkan logam pengisi tidak dapat mengalir dengan baik.

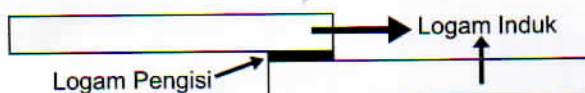
3 Silver Brazing

Logam pengisi yang paling banyak digunakan adalah berbentuk batang (*rod* atau kawat). Penggunaan logam pengisi berbentuk kawat mempunyai kelemahan utama, yaitu bahwa logam pengisi hanya dapat mengisi sedikit ke dalam daerah mbungan (lebih banyak berada diluar daerah sambungan) sehingga kekuatan sambungan tidak menyatakan kekuatan seluruh daerah sambungan.

Dengan berkembangnya pembuatan bentuk logam pengisi, bentuk lembaran tipis dengan ketebalan tertentu, kelemahan logam pengisi berbentuk batang/kawat dapat direduksi. Untuk keperluan tertentu dengan luas daerah sambungan yang besar, penggunaan logam pengisi lembaran menjadi alternatif yang paling baik. Dengan aksi kapiler yang sama, logam pengisi dapat mengalir mengisi seluruh daerah sambungan dengan baik, sehingga akan menaikkan kekuatan sambungan.

Pemilihan bentuk logam pengisi sebagai media penyambung ditentukan oleh disain bentuk sambungan. Bentuk sambungan *lap joints* merupakan bentuk sambungan yang paling cocok menggunakan logam pengisi berbentuk lembaran dibandingkan bentuk kawat, seperti terlihat pada gambar 4. Keunggulan sambungan *lap joints* adalah besarnya luas daerah kontak (daerah sambungan) dibandingkan bentuk sambungan lain, seperti *butt joints* dan sambungan dapat dimodifikasi sesuai bentuk komponen.

Lembaran berada diantara sambungan dan akan mengisi seluruh daerah sambungan dengan baik, sedangkan bentuk kawat hanya terfokus pada kedua ujung sambungan sehingga dimungkinkan adanya daerah sambungan yang tidak terisi oleh logam pengisi.



Gambar 2. Bentuk sambungan lap joint.

Terdapat beberapa jenis logam pengisi untuk proses brazing. Untuk logam pengisi brazing, American Welding Society (AWS) mengklasifikasikan berdasarkan unsur paduan utamanya seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi logam pengisi brazing⁽⁹⁾.

AWS classification	Product form	Nominal Composition, %										Temperature, °F		
		Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Sn	Fe	Mn	Si	P	Solidus	Liquidus	Brazing
Silver Alloys														
BAG-1	Strip, Wire, Powder	45	15	16	24	...	...	...	...	...	...	1125	1145	1145-1400
BAG-1a	Strip, Wire, Powder	50	15.5	16.5	18	...	...	...	...	...	...	1160	1175	1175-1400
BAG-2	Strip, Wire, Powder	35	26	21	18	...	...	...	...	...	...	1125	1295	1295-1400
BAG-2a	Strip, Wire, Powder	30	27	23	20	...	...	...	...	...	...	1125	1310	1310-1400
BAG-3	Strip, Wire, Powder	50	15.5	15.5	16	3.0	...	...	...	...	...	1170	1270	1270-1400
BAG-4	Strip, Wire, Powder	40	30	28	...	2.0	...	...	...	...	...	1220	1435	1435-1650
BAG-5	Strip, Wire, Powder	45	30	25	...	...	...	...	...	...	...	1225	1370	1370-1550
BAG-6	Strip, Wire, Powder	50	34	16	...	...	...	...	...	...	...	1250	1425	1425-1600
BAG-7	Strip, Wire, Powder	56	22	17	...	5.0	...	...	...	...	...	1145	1205	1205-1400
BAG-20	Strip, Wire, Powder	30	38	32	...	...	...	...	...	...	...	1250	1410	1410-1600
BAG-27	Strip, Wire, Powder	25	35	26.5	13.5	...	...	...	...	...	...	1125	1375	1375-1400
BAG-28	Strip, Wire, Powder	40	30	23	...	...	2	...	...	...	...	1200	1310	1310-1500
Copper-Zinc Alloys														
RBCUZn-A(a)	Strip, rod, wire, powder	...	59	40	...	...	0.5	...	...	...	...	1630	1650	1670-1750
RBCUZn-D(a)	Strip, rod, wire, powder	...	48	41	...	10.0	...	...	...	0.15	0.25	1690	1715	1720-1800
RCUZn-B(b)	Rod	...	58	38	...	0.5	0.95	0.7	0.25	0.08	...	1590	1620	...
RCUZn-C(b)	Rod	...	58	39	...	...	0.95	0.7	0.25	0.08	...	1595	1620	...

(a) Classified for brazing welding and brazing, (b) Classified for brazing welding
Source: Abstracted from the mandatory and nonmandatory sections of AWS A5.7, AWS A5.8, and other sources

Pemilihan logam pengisi paduan perak didasarkan pada keunggulan-keunggulan yang dimilikinya, antara lain lapisan tipis logam pengisi menghasilkan kekuatan sambungan yang cukup tinggi, mempunyai *wettability* yang baik untuk baja tahan karat, sedangkan logam pengisi jenis lain tidak dapat membasahi permukaan dengan baik, mempunyai ketahanan korosi yang baik, meningkatkan konduktivitas listrik, mempunyai ketahanan yang baik terhadap getaran, ekspansi dan kontraksi, mudah dilakukan, tidak diperlukan proses lanjut, seperti pemolesan, dapat dilakukan oleh semua jenis proses brazing (*rotary table, conveyor, induction, torch* atau *furnace*) dan untuk produksi massal, penggunaan *silver-brazing* lebih menguntungkan.

4 Percobaan

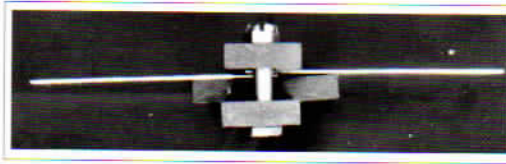
Proses brazing⁽⁸⁾ yang digunakan pada penelitian ini adalah *furnace brazing* di mana pemanasan dilakukan di dalam tungku pemanas. Tungku pemanas yang digunakan sama seperti halnya untuk proses perlakuan panas di mana panas dihasilkan dari arus listrik yang dialirkan ke elemen pemanas (gambar 3a). Komponen yang akan disambung biasanya telah diklem atau dicekam dengan gaya yang relatif kecil untuk menghindari terjadinya perubahan atau bergesernya daerah sambungan (gambar 3b dan 3c). Dengan penggunaan temperatur kontrol pada tungku pemanas, maka keseragaman temperatur akan tercapai. Apabila tidak diinginkan terjadinya oksidasi selama pemanasan, penggunaan gas pelindung atau keadaan vakum dapat dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. (a) tungku yang digunakan untuk proses *furnace brazing*; (b) pandangan atas spesimen yang telah dicekam; (c) pandangan samping spesimen yang telah dicekam.

Setelah proses *brazing* selesai dilakukan, pembersihan komponen harus dilakukan. Fluks yang terbakar biasanya akan menempel pada permukaan luar logam induk (fluks yang terbakar secara kimia bersifat korosif sehingga akan memperlemah daerah sambungan). Pencucian dilakukan dengan menggunakan larutan asam (20% HCl, 10% HNO₃, 70% air, dipanaskan pada 65°C). Bahan yang digunakan sebagai logam induk adalah baja tahan karat austenitik 304. Diuji dengan *SHIMADZU Spectrometer type GVM1012 P* dan diperoleh data komposisi kimia seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi baja tahan karat austenitik 304.

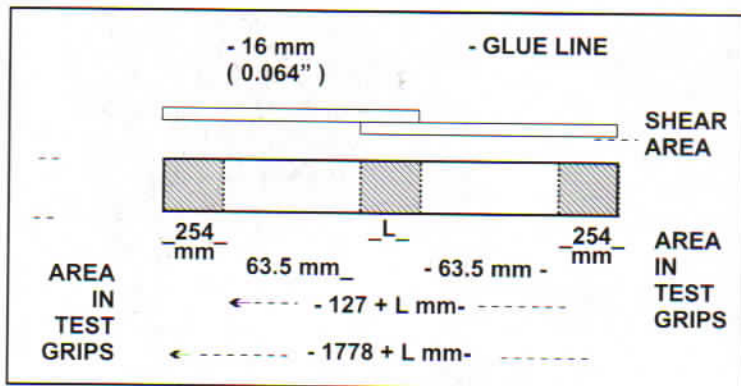
Unsur	Hasil spektrometer (%)	Standar AISI 304 (%)
C	0,04906	0,08 maks.
Mn	1,8594	2,00
Si	0,62207	1,00
Cr	17,267	18,0-20,0
Ni	10,258	8,0-10,5
P	0,03698	0,045
S	0,02399	0,03

- Logam pengisi adalah paduan perak *Platinum 66R* (sesuai dengan AWS A5.8 Bag-7) berbentuk lembaran dengan tebal (t) = 0,03 mm (30 m).

Tabel 3. Komposisi kimia logam pengisi *Platinum 66R*.

Unsur	Produsen (%)	AWS A5.8 BAG-7 (%)
Ag	55	56
Cu	21	22
Zn	22	17
Sn	2	5

- Tebal pelat = 1,5 mm, ukuran spesimen dibuat sesuai dengan standar ASTM D 1002-72.



Gambar 4. Spesimen uji tarik-geser ASTM D 1002-72⁽¹⁷⁾.

- Ketebalan logam pengisi divariasikan, yaitu 1 kali; 2 kali; 3 kali dan 4 kali dari tebal awal.
- Fluks yang digunakan *Platinum 15 Flux*.
- Proses *brazing* menggunakan tungku *muffle* dengan temperatur operasi = 850C dan waktu penahanan 15 menit.

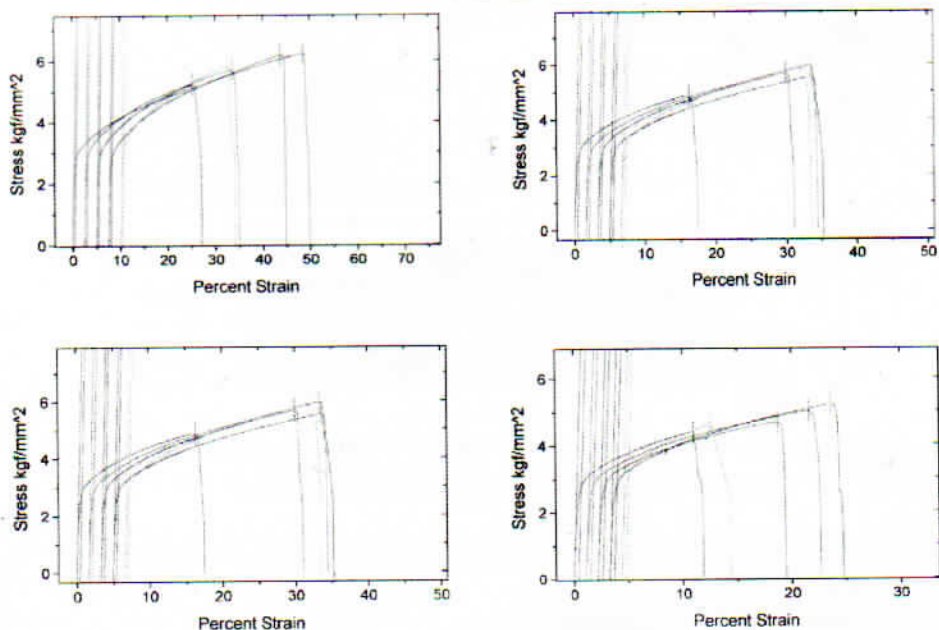


Gambar 5. Spesimen yang telah mengalami proses *brazing* dan siap untuk dikeluarkan dari tungku.

5 Hasil pengujian dan Pembahasan

5.1 Hasil Pengujian

Untuk mengetahui kekuatan tarik-geser sambungan, maka dilakukan pengujian tarik-geser dengan menggunakan mesin uji tarik *INSTRON type 8501*. Pengujian tarik-geser sesuai ASTM D-1002-72 dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 6 dan 7 serta tabel 4.

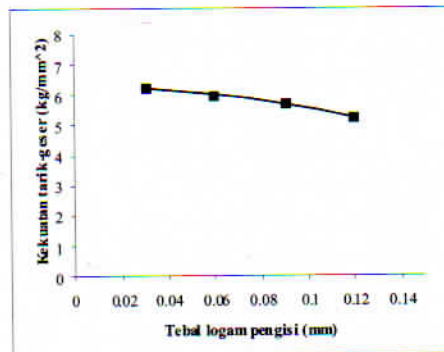


Gambar 6. (a) kurva pengujian tarik-geser spesimen A, $t_1 = 0,03$ mm; (b) kurva pengujian tarik-geser spesimen B, $t_2 = 0,06$ mm; (c) kurva pengujian tarik-geser spesimen C, $t_3 = 0,09$ mm; (d) kurva pengujian tarik-geser spesimen D, $t_4 = 0,12$ mm.

Tabel 4. Data pengujian tarik-geser.

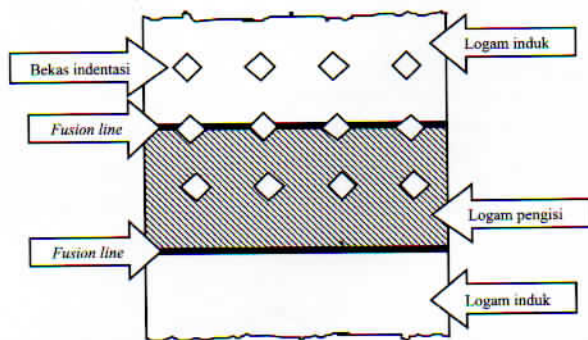
Spesimen	Tegangan geser luluh (τ_y) kg/mm^2	Tegangan geser maksimum (τ_u) kg/mm^2
A-1	2,769	6,223
A-2	2,863	5,704
A-3	2,839	5,231
A-4	2,835	6,190
A-5	3,131	5,817
B-1	2,785	4,879
B-2	2,777	5,951
B-3	2,815	5,673
B-4	2,825	5,553
B-5	3,153	5,845
C-1	2,714	5,477
C-2	2,667	5,075
C-3	2,727	4,627
C-4	2,665	4,388
C-5	3,003	5,704
D-1	2,755	4,387
D-2	2,805	4,986
D-3	2,813	4,657
D-4	2,804	5,211
D-5	3,128	4,610

- Spesimen A (t_1) : logam pengisi setebal t (0,03 mm)
 Spesimen B (t_2) : logam pengisi setebal $2t$ (0,06 mm)
 Spesimen C (t_3) : logam pengisi setebal $3t$ (0,09 mm)
 Spesimen D (t_4) : logam pengisi setebal $4t$ (0,12 mm)



Gambar 7. Kekuatan tarik-geser hasil pengujian tebal logam pengisi.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah logam induk, *fusion line* (batas lebur) dan logam pengisi dengan menggunakan *SHIMADZU Micro-Vickers hardness tester type MT-M001*, dengan beban 200, 50 dan 25 gram. Daerah pengujian ditunjukkan pada gambar 8. Harga-harga kekerasan masing-masing daerah pada tabel 6 diplot dalam suatu grafik seperti ditunjukkan pada gambar 9 dan 10.



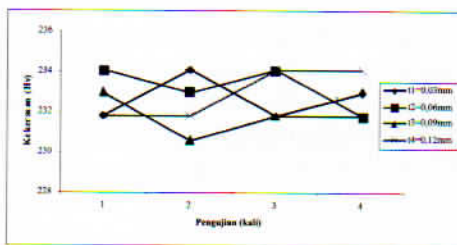
Gambar 8. Lokasi pengujian kekerasan.

Tabel 5. Data pengujian kekerasan logam induk sebelum *brazing*.

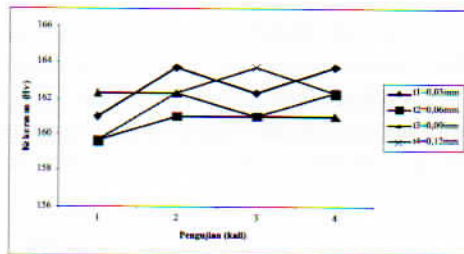
Kekerasan (Hv)			
uji 1	uji 2	uji 3	Rata-rata
218,5	220,6	218,5	219,2

Tabel 6. Data pengujian kekerasan setelah *brazing*.

Daerah uji	Kekerasan (Hv)				Rata-rata
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	
Logam induk	231,8	231,8	256,8	231,8	232,6
	254,2	231,8	220,6	231,8	
	231,8	243,8	231,8	234,1	
	245,1	245,1	231,8	233	
Antarmuka	161	159,6	162,3	159,6	161,8
	163,7	161	162,3	162,3	
	162,3	161	161	163,7	
	163,7	162,3	161	162,3	
Logam pengisi	34,7	33,7	33,7	34,4	34,5
	33,7	34,4	34,2	33,5	
	34,4	35,2	35,2	35,7	
	34,2	35,1	34,4	35,7	

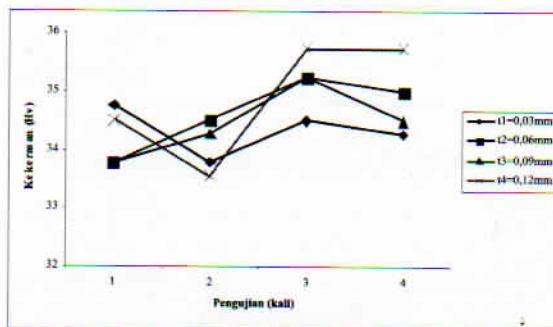


(a)



(b)

Gambar 9. (a) grafik kekerasan logam induk ketebalan logam pengisi; (b) grafik kekerasan antarmuka ketebalan logam pengisi.

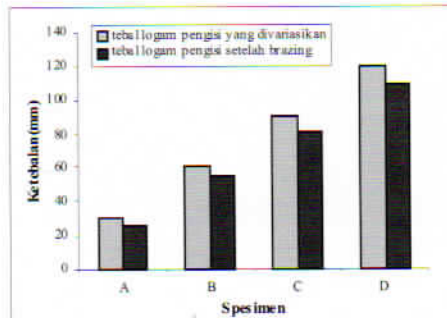


Gambar 10. Grafik kekerasan logam pengisi ketebalan logam pengisi.

Pengukuran tebal logam pengisi dengan bantuan mikrometer pada mesin uji keras SHIMADZU Micro-Vickers hardness tester type MT-M001 ditunjukkan pada tabel 7 dan diplot dalam bentuk diagram batang seperti ditunjukkan pada gambar 11.

Tabel 7. Data pengukuran tebal logam pengisi

Spesimen	Ketebalan (μm)		Pengurangan Ketebalan (%)
	Sebelum <i>brazing</i>	Sesudah <i>brazing</i>	
A	30	25,5	15
B	60	54,3	9,5
C	90	80,1	11
D	120	109,7	8,5


 Gambar 11. Perbandingan tebal sebelum dan sesudah proses *brazing*.

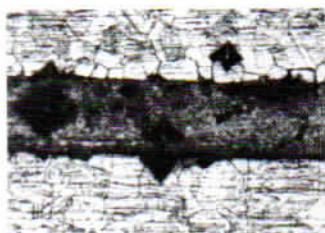
Pemeriksaan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop metalurgi ditunjukkan pada gambar 12 dan pemeriksaan dengan SEM-EDS ditunjukkan pada gambar 13 dan 14.



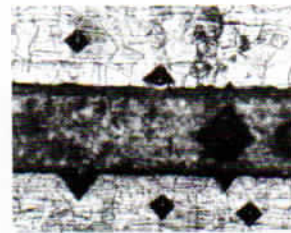
(a)



(b)



(c)

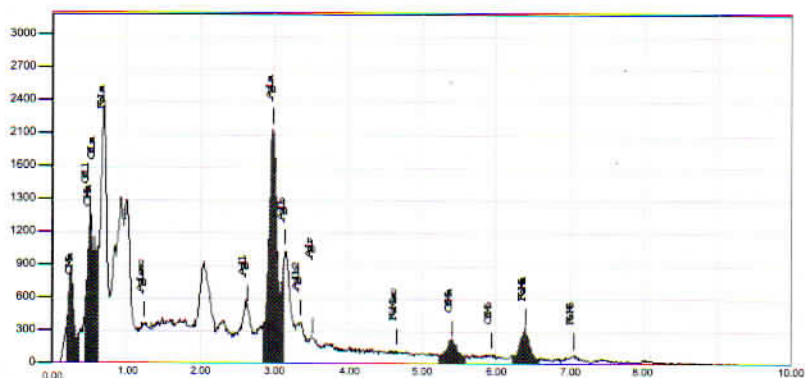


(d)



(e)

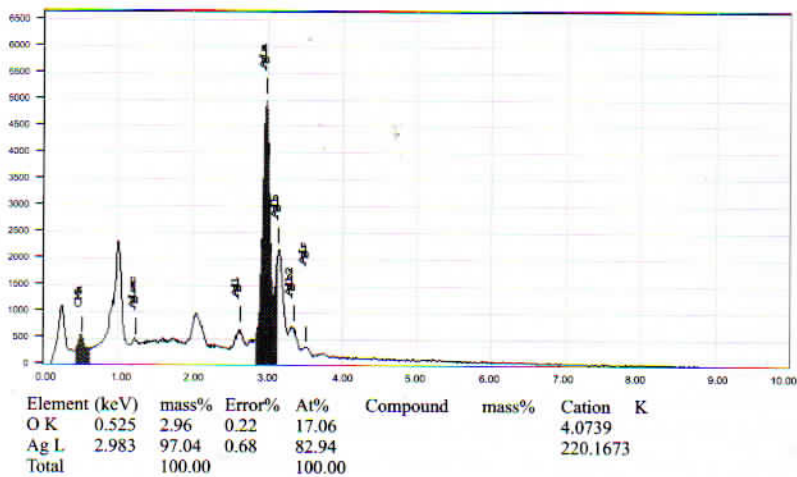
Gambar 12. (a) struktur mikro awal logam induk, 600 X; (b) struktur mikro spesimen A, $t_1 = 0,03$ mm, 600 X; (c) struktur mikro spesimen B, $t_2 = 0,06$ mm, 600 X; (d) struktur mikro spesimen C, $t_3 = 0,09$ mm, 600 X; (e) struktur mikro spesimen D, $t_4 = 0,12$ mm, 600 X.



Element	(KeV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass%	Cation	K
C K	0.227	3.77	0.03	16.37			7.4652	
O K	0.525	7.61	0.13	24.82			15.7694	
Cr K	5.411	6.90	0.92	6.92			20.9676	
Fe K	6.398	27.48	1.72	25.66			83.2116	
Ag L	2.983	54.24	0.50	26.23			137.0498	
Total		100.00		100.00				

(a)





(b)

Gambar 13. (a) struktur mikro daerah sambungan (SEM) dan komposisi kimia pada daerah antar muka logam induk dan logam pengisi, 600 X; (b) struktur mikro daerah sambungan (SEM) dan komposisi kimia pada daerah logam pengisi, 600 X.



Gambar 14. Struktur mikro daerah sambungan (SEM), 600 X.

Pada proses brazing di mana logam pengisi berbeda dengan logam induk menyebabkan sifat mekanik sambungan lebih rendah dibandingkan logam induk. Dengan demikian sifat mekanik sambungan mempunyai kecenderungan sama dengan sifat mekanik logam pengisi. Sambungan lap joint yang dilakukan pada penelitian ini memvariasikan ketebalan logam pengisi ($t_1 = 0,03$; $t_2 = 0,06$; $t_3 = 0,09$; $t_4 = 0,12$ mm). Untuk mengetahui kekuatan sambungan dilakukan pengujian tarik-geser sesuai ASTM D-1002-72. Pada gambar 9 diperlihatkan kurva hasil pengujian tarik-geser sambungan terhadap ketebalan logam pengisi yang divariasikan. Ditunjukkan bahwa semakin tebal logam pengisi, kekuatan tarik-gesernya semakin turun.

Adanya gaya yang diberikan pada spesimen uji tarik-geser, daerah sambungan akan mengalami tegangan-regangan. Logam induk menerima gaya tarik sedangkan logam pengisi menerima gaya geser. Karena daerah sambungan mempunyai luas penampang tertentu yang lebih kecil dibandingkan logam induk, maka gaya-gaya yang bekerja akan terkonsentrasi pada daerah sambungan atau terkonsentrasi pada logam pengisi. Gaya geser yang terjadi pada logam pengisi akan menyebabkan tegangan geser, gaya geser yang diberikan akan menyebabkan regangan geser $(\gamma) = \left(\frac{\delta}{t} = \tan \theta \right)$, yaitu adanya perubahan atau pergeseran logam pengisi sebesar δ atau $\tan \theta$.

Jika perubahan atau pergeseran δ logam pengisi dianggap konstan, tetapi tebal logam pengisi berbeda, maka regangan geser akan dipengaruhi oleh tebal tipisnya logam pengisi pada daerah sambungan. Untuk modulus geser (G) yang sama, regangan geser akan semakin kecil jika tebal bertambah, sehingga tegangan geser yang bekerja menjadi turun ($\tau = G \cdot \gamma$).

Pada spesimen A, $t_1 = 0,03$ mm yang merupakan sambungan dengan tebal logam pengisi paling tipis mempunyai kekuatan tarik-geser paling tinggi, yaitu sebesar $6,223 \text{ kg/mm}^2$ dibandingkan dengan spesimen yang lainnya. Selain itu tegangan permukaan yang terdapat pada kedua permukaan logam induk dan logam pengisi pada spesimen A lebih besar sehingga daya lekat logam pengisi ke logam induk lebih baik. Tegangan permukaan adalah dG/dA , di mana dengan bertambahnya luas penampang akan menyebabkan tegangan permukaan menjadi rendah dan daya lekat menjadi turun.

Dari pengujian kekerasan seperti diperlihatkan pada gambar 9 dan 10 menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada daerah logam induk, antarmuka dan logam pengisi setelah proses *brazing* dengan variasi ketebalan logam pengisi. Kekerasan logam induk berkisar 232,6 HV, antarmuka 161, 8 HV dan logam pengisi 34,5 HV. Kekerasan antarmuka rendah karena indentasi yang terjadi mengenai sebagian logam induk dan logam pengisi. Dari kurva tersebut dapat diketahui pula bahwa ketebalan logam pengisi tidak berpengaruh terhadap kekerasan sambungan. Dari pengukuran ketebalan logam pengisi setelah proses brazing seperti ditunjukkan pada tabel 7 dan gambar 11, terlihat adanya penurunan ketebalan logam pengisi pada sambungan. Penurunan ketebalan ini terjadi akibat adanya sebagian logam pengisi yang mencair keluar dari daerah sambungan. Analisis struktur mikro dengan menggunakan mikroskop metalurgi pada gambar 12 menunjukkan tidak adanya perubahan struktur mikro yang signifikan sebelum dan sesudah proses *brazing* pada logam induk.

Sebelum dan sesudah proses *brazing* struktur mikro logam induk tetap mempunyai fasa austenit, sedangkan pada daerah sambungan fasanya adalah dendrit. Fasa dendrit terbentuk karena logam pengisi mencair dan membeku dengan cepat.

Diperlihatkan pula bahwa daerah sambungan terisi oleh logam pengisi. Karena logam pengisi mempunyai kekuatan yang lebih rendah, maka patahan terjadi pada logam pengisi, ini diperlihatkan pada daerah sambungan terdapat logam pengisi yang menempel pada kedua permukaan logam induk. Sejumlah porositas juga terdapat pada daerah sambungan, ini terjadi akibat terjebaknya fluks yang terbakar didalam logam pengisi yang mencair. Analisis struktur mikro dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) pada gambar 13 dan 14 menunjukkan bahwa pada bagian atas terlihat jelas batas antara logam induk dengan logam pengisi. Logam induk dengan fasa austenit terlihat butir-butirnya sedangkan logam pengisi dengan struktur dendritnya. Terjadi ikatan yang baik antara logam induk dengan logam pengisi. Pada bagian bawah terlihat garis batas pada antar muka logam pengisi dan logam induk. Ini dimungkinkan adanya fluks yang terbakar terjebak didaerah sambungan dan tidak dapat keluar. Hasil pengujian pada daerah antarmuka dengan menggunakan *energy-dispersive spectroscopy* (EDS) tidak menunjukkan adanya senyawa yang terbentuk pada daerah antar muka sambungan. Dengan demikian tidak terjadi difusi atom-atom dari unsur-unsur yang terdapat dalam logam pengisi.

6 Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik-geser sambungan paling tinggi diperoleh pada $t_1 = 0,03$ mm (30 m) sebesar $6,223 \text{ kg/mm}^2$.
2. Semakin tebal logam pengisi, kekuatan tarik-geser akan semakin menurun.
3. Tidak terjadi perubahan kekerasan yang signifikan baik pada logam induk, antarmuka dan logam pengisi. Kekerasan logam induk berkisar 232,6 HV, antarmuka 161, 8 HV dan logam pengisi 34,5 HV.
4. Struktur mikro logam induk tidak berubah tetap mempunyai fasa austenit, sedangkan pada logam pengisi mempunyai fasa dendrit.
5. Terjadi penurunan ketebalan sambungan akibat keluarnya sebagian logam pengisi. Rata-rata pengurangan ketebalan sebesar 11%.
6. Pemeriksaan dengan *scanning electron microscope* (SEM) menunjukkan ikatan yang baik antara logam induk dan logam pengisi.
7. Pemeriksaan dengan *energy-dispersive spectroscopy* (EDS) menunjukkan tidak terjadinya difusi unsur-unsur logam pengisi ke dalam logam induk.

6.2 Saran

Untuk mengembangkan yang telah diteliti ini, beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Memperbaiki sistem pengecaman spesimen percobaan sehingga kemungkinan kehilangan sebagian logam pengisi dapat dihindarkan.
2. Ukuran luas penampang lembaran logam pengisi yang efektif sehingga tidak ada logam pengisi yang keluar dari daerah sambungan.
3. Melakukan penyambungan dengan metoda brazing lainnya sehingga dapat dibandingkan sifat-sifat mekanik yang dihasilkannya untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang optimum.

7 Daftar pustaka

1. Wirjosumarto, H., Okumura, T., *"Teknologi Pengelasan Logam"*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
2. Lucas-Milhaupt, *"What Brazing is all about"*, Lucas-Milhaupt, Inc., <http://www.lucas-milhaupt.com>, Pennsylvania Ave., Cudahy, WI, 2003.
3. Kay, D., *"Preparing Parts For Brazing"*, <http://www.nw3.nai.net/~dankay>, Connecticut, 2003.
4. Lucas-Milhaupt, *"When Do You Think Brazing?"*, Lucas-Milhaupt, Inc., <http://www.lucas-milhaupt.com>, Pennsylvania Ave., Cudahy, WI, 2003.
5. DeGarmo, P., Black, J.T., Kohser, R.A., *"Materials and Processes in Manufacturing"*, Macmillan Publishing Company, New York, 1988.
6. Dawson, R.J.C., *"Fusion Welding and Brazing of Copper and Copper Alloys"*, Newnes-Butterworths, London, 1973.
7. Lucas-Milhaupt, *"6 Basic Steps in Brazing"*, Lucas-Milhaupt, Inc., <http://www.lucas-milhaupt.com>, Pennsylvania Ave., Cudahy, WI, 2003.
8. ASM, *"Metals Handbook, Welding and Brazing"*, Metals Park, Ohio, 1972.
9. AWS, *"Welding Handbook"*, chapter 12, vol. 3, Miami, 1980.
10. Lucas-Milhaupt, *"Pickling Solutions Chart"*, Lucas-Milhaupt Inc., <http://www.lucas-milhaupt.com>, Pennsylvania Ave., Cudahy, WI, 2003.
11. http://www.biosystems.okstate.edu/Home/harry/3223/110_Notes/BrazSol_d.pdf, *"Special Welding Processes"*, 2002.
12. <http://www.mckaymarine.com.au>, *"Soldering, Brazing, Braze Welding, and Wearfacing"*, chapter 6, 2003.
13. <http://www.me.concordia.ca/Notes09-423-6.pdf>, *"Brazing and Soldering"*, 2003.
14. Lancaster, J.F., *"Metallurgy of Welding"*, 3rd edition, George Allen & Unwin Ltd., London, 1980.
15. Dieter, G.E., *"Mechanical Metallurgy"*, McGraw-Hill, New York, 1986.
16. ASM, *"Guide to Engineered Materials (GEM) 2001"*, Materials Park, Ohio, 2001.
17. ASTM, *"ASTM D 1002-72 Standard Test Method for Strength*

18. Sangha, S.P.S., Jacobson, D.M., Peacock, A.T., "Development of the Copper-Tin Diffusion-Brazing Process", Matra Marconi Space, Stevenage, England, 2003.
19. Peacock, A.T., et al., "Development of Silver-free Bonding Techniques and an Investigation of the Affect of Cadmium in the Brazed Joints made with Silver Based Brazing Alloys", Proceeding of 19th Symposium Fusion Technology, Lisbon, 1996, pp 415-418.
20. **Materials Resources International**, "Joining of Dissimilar Materials", <http://www.materialsresources.com/index.html>, Lansdale, PA 19446 USA, 2003.
21. **Feldbauer, S.L.**, "Modern Brazing of Stainless Steel", **Welding Research**, American Welding Society (AWS), 2004.
22. **Jeffries, J.**, "Brazing", **National HVAC**, Loma Linda, CA. 2005.
23. Hoaglan, B., "Why Homebrewers Should Learn Silver Brazing", 2001.
24. Key-to-Steel, "Welding Process", <http://www.Key-to-Steel.com>, 2006.
25. Zorc, B., Kosek, L., "A New Approach to Improving the Properties of Brazed Joints", Welding Research, American Welding Society (AWS), 2000.
26. Hosking, F.M., Cadden, C.H., Yang, N.Y.C., Glass, S.J., Stephens, J.J., Vianco, P.T., Walker, C.A., "Microstructural and Mechanical Characterization of Actively Brazed Alumina Tensile Specimens", Welding Research, American Welding Society (AWS), 2000.
27. Takeshita, K., Terakura, Y., "A Novel Approach for Predicting Tensile Strength of Brazed Joints", Metallurgical and Materials Transaction A 29A(2), pp 587-592, 1998.