

# PENGARUH ELEKTRODA –ELEKTRODA PERAK DAN TIMAH TERHADAP KEKUATAN LAS - KEKERASAN – KOMPOSISI KIMIA DAN STRUKTUR MIKRO (APLIKASI UNTUK TRANSFORMER COOLER)

Budiarto<sup>1</sup>  
Usman Sudjadi<sup>2</sup>

**Abstract:** Influence of silver and tin electrodes welding to strength and hardness material as well as chemical composition of the bulk material and microstructure were investigated. Some stainless steel samples were welded with silver or tin electrodes for several minutes. After that the hardness, strength of the samples were tested. Chemical composition of sample were also analyzed. Microstructure of samples were observed with optical microscope. The results showed that, samples welded with silver gave the best result. Vicker's hardness of this sample was 117,06 kgf/mm<sup>2</sup>. Tensile stress of this sample was 0,0395. The application of welding was for transformer cooler.

**Keywords:** silver, tin, welding, strength, hardness

## PENDAHULUAN

*Heat Exchanger* merupakan peralatan yang digunakan di semua sektor industri yang meliputi : Mesin pembangkit tenaga listrik (PLTU, PLTGU, PLTD, PLTP, PLTA), industri pertambangan, sektor transportasi dan industri lainnya. Aplikasinya hampir di setiap mesin yang mengkonversikan energi thermal menjadi energi mekanik atau listrik. *Heat Exchanger* yang di produksi PT.INTAN PRIMA KALORINDO meliputi beberapa jenis : *Heavy Duty Radiator, Jacket Water, Inter Cooler, Oil Cooler, Thrust Bearing, Gas Cooler, Tubular Heat Exchanger, Transformer Cooler, Steam Heater, Condensor, Cooling Tower*, dan sebagainya. *Heat Exchanger* yang diproduksi mempunyai ciri khas; efektifitas pendinginan yang optimal dan umur yang maksimal dengan desain *Tube Oval Seamless* dan bulat (diameter 12 mm dan 15 mm) sehingga diperoleh efektifitas pendinginan dan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang optimal. Kebutuhan radiator sebagai komponen pendingin, khususnya untuk pembangkit listrik tenaga diesel terus meningkat. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyak pesanan atau permintaan radiator tersebut oleh beberapa PLTD, terutama di luar pulau Jawa.

Pembuatan komponen radiator di PT. Intan Prima Kalorindo sebagian besar masih dilakukan semi mekanis. Oleh karena itu suatu komponen radiator dirancang dan dibuat berdasarkan material-material pilihan dengan proses pembuatan yang tepat, sesuai dengan kondisi kerja komponen tersebut, dalam banyak hal komponen material yang ada tidak dapat memenuhi kebutuhan perancangan suatu mesin tanpa perlakuan panas terlebih dahulu terhadap material yang telah ada atau terhadap komponen radiator yang telah dibuat. Oleh karena itu dalam rangka terus meningkatkan kualitas dan mutu produksi perlu adanya pula penguasaan konsep teknologi, yang diharapkan nantinya akan terus dikembangkan melalui tahapan-tahapan dan ide-ide yang terus berkembang, sehingga hal tersebut bisa menjadi bahan pertimbangan agar efisiensi dan efektivitas kerja khususnya dalam pengerjaan las dapat tercapai.

## Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengamati perubahan rekristalisasi, pertumbuhan butir dan sifat-sifat material yang disebabkan proses pengelasan dengan timah maupun perak dan perubahan struktur material

<sup>1</sup> Puslitbang IPTeK Bahan Batan, Serpong Tangerang

<sup>2</sup> PTBN Batan Serpong Tangerang

dasarnya. Adapun secara khusus tujuan penelitian ini adalah :

- 1). Melihat pengaruh perlakuan panas yang disebabkan karena proses pengelasan baik dengan timah ataupun perak terhadap kekerasan dan kekuatan material.
- 2). Mengetahui pengaruh perbedaan penggunaan bahan elektroda timah dan perak terhadap stuktur mikro maupun makro.
- 3). Sejauh mana komposisi kimia material dasar berpengaruh terhadap pengelasan/penyolderan.
- 4). Mencari alternatif yang terbaik dari kedua penyolderan tersebut.

**Proses Pengelasan**

Mutu dari hasil pengelasan di samping tergantung proses pengerjaannya juga tergantung pada sejauh mana persiapan yang dilakukan. Persiapan tersebut meliputi material benda kerja, pemilihan logam pengisi (*Filler*), parameter pengelasan, dan prosedur Pengelasan.

**Pemilihan Benda Kerja (*Speciment*)**

Di dalam pengamatan ini digunakan bahan baja

karbon rendah, dengan tebal plat 1 mm. Material dipotong dengan menggunakan mesin hidrolik dengan perkiraan material tidak akan mengalami perubahan struktur maupun sifat fisiknya.

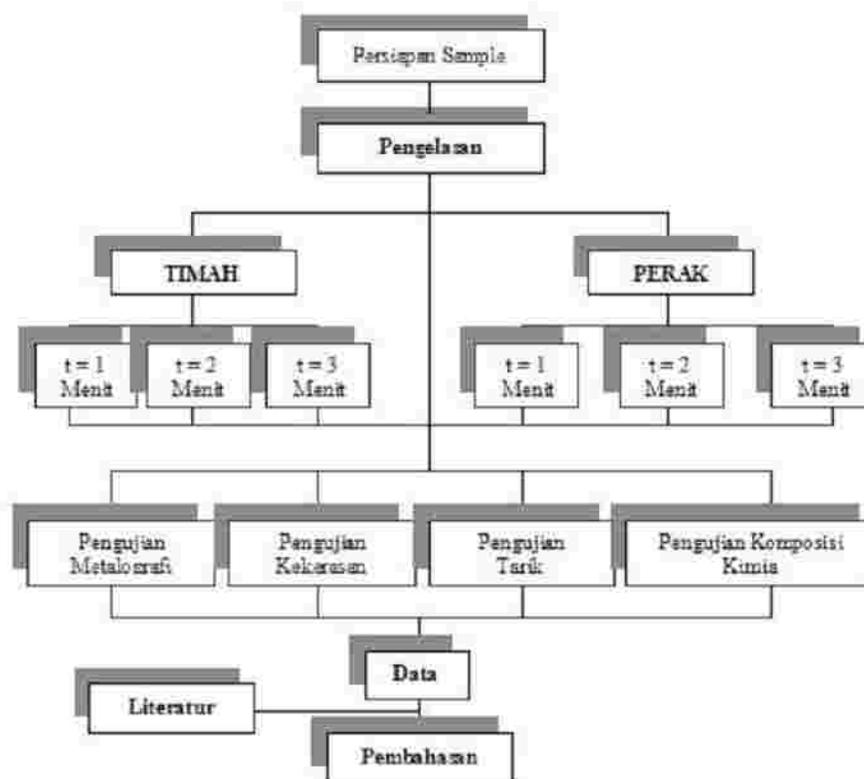
**Dimensi Benda Kerja.**

- Ü Panjang : 120 mm
- Ü Lebar : 8 mm
- Ü Tebal : 1 mm

Permukaan benda kerja yang akan disolder atau dilas harus benar-benar dalam keadaan bersih dari karat dan kotoran minyak, lapisan oksida dan zat lainnya.

Lapisan oksida pada permukaan alur yang dibiarkan dalam udara bebas dalam waktu yang cukup lama setelah pembersihan akhir, akan tumbuh menjadi tebal dan menyerap uap air yang pada akhirnya akan menjadi penyebab timbulnya cacat las, seperti peleburan yang kurang sempurna dan lubang halus (*porosity*).

Proses pembersihan material yang akan disolder menggunakan cara pembersihan dengan proses



Gambar 1. Prosedur Penelitian

kimia, pembersihan material dilakukan dengan merendam atau mengoleskan air dengan kuas mengenai material yang akan atau sudah di solder yang telah dicampur dengan air keras (HCl) dan zinc chloride dengan (perbandingan 10 : 2 : 1), manfaat dari pembersihan material dengan menggunakan pembersihan kimia adalah :

- 1) Menghilangkan Flek–Flek yang terdapat pada logam induk.
- 2) Menghilangkan minyak–minyak yang terdapat pada logam induk
- 3) Menghilangkan karat atau korosi pada logam induk
- 4) Sebagai salah satu syarat untuk melakukan penyolderan dengan timah ataupun perak.

Setelah logam induk dibentuk dan dibersihkan sesuai proses yang berlaku, pengelasan Oksi-asetilen dapat dilakukan dengan sebelumnya mempersiapkan bahan–bahan pendukung proses pengelasan dengan oksidasi asetilen seperti fluks yang berfungsi untuk memperbaiki sifat–sifat las, derajat kecairan logam cair, menahan pelarutan gas atau untuk menghindari oksidasi logam cair. Fluks pada pengelasan ini biasanya adalah campuran antara boraks serbuk gelas atau antara asam borik, boraks dan natrium fosfat. Penggunaan dan komposisi dari fluks tergantung pada logam yang akan dilas.

**Prosedur Pengujian**

Metode penelitian ini ditetapkan dengan pertimbangan bahwa hasil pemeriksaan dan pengujian ini bisa memecahkan permasalahan yang ada secara representatif dan benar. Adapun metode penelitian yang digunakan mencakup :

- a). Pengujian Kekerasan
- b). Pengujian Tarik
- c). Pengujian Komposisi Kimia
- d). Pengujian Metallografi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berikut ini akan dibahas hasil-hasil dari serangkaian pengujian yang dilakukan diantaranya pengujian kekerasan, pengujian komposisi kimia, pengujian tarik dan pengujian struktur mikro terhadap baja karbon rendah sebagai bahan dasar (baku) *Transformer Cooler* di PLTD Suralaya. Pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (L.U.K) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi PUSPITEK - Serpong.

**Data Hasil Pengujian Material Lasan Timah dan Perak**

**Data Hasil Pengujian Kekerasan**

Metode Pengujian : Kekerasan Vickers

**Material Lasan Timah ( *Lead Solder* )**

**Tabel 1** Data Hasil Uji Kekerasan Material Lasan Timah

Spesi-men	Titik	Diameter jejak (mm)	HV (Kgf/mm <sup>2</sup> )	HV Rata-rata (Kgf/mm <sup>2</sup> )
Tanpa Pengam-atan Waktu	1.	.0.340	8.10	
	2.	0.246	15.32	12.83
	3.	0.248	15.07	
t = 1 menit	1	0.240	16.09	
	2	0.240	15.31	15.49
	3	0.255	15.07	
t = 2 menit	1	0.270	12.71	
	2	0.265	13.05	12.67
	3	0.275	12.25	
t = 3 menit	1	0.295	10.65	
	2	0.290	11.02	10.65
	3	0.300	10.30	

**Material Lasan Perak ( *Silver Solder* )**

**Tabel 2** Data Hasil Uji Kekerasan Material lasan perak

Spesi-men	Titik	Diameter jejak (mm)	HV (Kgf/mm <sup>2</sup> )	HV Rata-rata (Kgf/mm <sup>2</sup> )
Tanpa Pengam-atan Waktu	1	0.080	144.8	
	2	0.079	148.5	142.70
	3	0.083	134.3	
t = 1 menit	1	0.079	148.5	
	2	0.082	137.9	143.73
	3	0.080	144.8	
t = 2 menit	1	0.083	134.3	
	2	0.083	134.5	132.56
	3	0.084	128.7	
t = 3 menit	1	0.087	122.4	
	2	0.090	114.4	117.06
	3	0.090	114.4	

Tabel 3 Data Hasil Uji Pengujian Tarik Material Lasan Timah dengan Pengamatan

Benda Uji	A (mm)	Lo (mm)	s (Kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)	? L (mm)	E (Kg/mm <sup>2</sup> )	P Maks (Kg)
t = 1 menit	72	210	0,0326	0,83	1,75	0,0392	2,35
t = 2 menit	72	210	0,0319	0,23	0,5	0,1380	2,30
t = 3 menit	72	210	0,0305	0,39	0,75	0,0780	2,20

Tabel 4 Data Hasil Uji Pengujian Tarik Material Lasan Perak

Benda Uji	A (mm)	Lo (mm)	S (Kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)	? L (mm)	E (Kg/mm <sup>2</sup> )	P Maks (Kg)
t = 1 menit	72	210	0,0395	0,54	1,15	0,073	2,85
t = 2 menit	72	210	0,0361	0,57	1,20	0,063	2,60
t = 3 menit	72	210	0,0305	0,30	0,65	0,101	2,20

Tabel 5 Data Hasil Uji Pengujian Tarik Material Lasan Timah Tanpa Pengamatan

Benda Uji	A (mm)	Lo (mm)	s (Kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)	? L (mm)	E (Kg/mm <sup>2</sup> )	P Maks (Kg)
1	72	210	0,0312	0,68	1,44	0,045	2,25
1	72	210	0,0298	0,30	0,65	0,099	2,15
3	72	210	0,0326	0,5	1,05	0,065	2,35

Indentor : Intan  
 Beban : 0,5 Kgf  
 Waktu pengujian : 10 detik  
 Mesin Uji : Frank Finotes 38

e = Perpanjangan/elongasi (%)  
 s<sub>Maks</sub> = Kekuatan Tarik Maximum

$$E = \frac{s_{maks}}{e}$$

**Data Hasil Pengujian Tarik**  
**Perhitungan Uji Tarik**

**a. Kekuatan Tarik Maximum**

Untuk mencari kekuatan tarik maximum specimen diperoleh dngan pembagian pembebanan plat maksimum dengan luas penampang plat tersebut.

$$s_{Maks} = \frac{P_{Maks}}{A}$$

**b. Regangan**

Skala uji tarik ini untuk satu kotak mewakili panjang 0,4 mm. Maka nilai regangan dari specimen tersebut, yaitu:

$$e = \frac{?L}{L_0} \times 100 \%$$

$$?L = L - L_0$$

dimana :

- ?L = Pemuluran (mm)
- e = Nilai regangan/elongasi (%)
- L = Panjang akhir dari pemuluran sebelum putus (mm)
- L<sub>0</sub> = Panjang awal specimen (mm)

**c. Modulus Elastisitas**

E = Modulus Elastisitas (Kg/mm<sup>2</sup>)

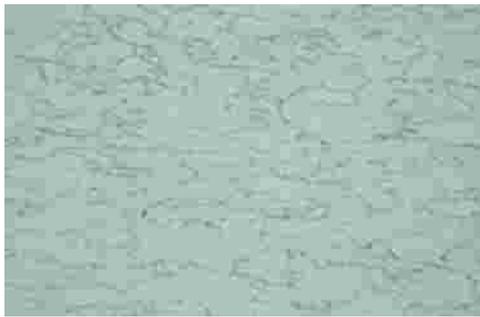
Perhitungan uji tarik pada specimen dengan waktu pemanasan (t) mula sampai akhir pengelasan 1 menit telah dilakukan.

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Unsur Kimia	Simbol	Persentase (%)
Ferrous	Fe	99,60
Carbon	C	0.046
Silikon	Si	0.017
Manganese	Mn	0.26
Chromium	Cr	0.041
Nikel	Ni	0.018
Molibdenum	Mb	0.0018
Copper	Cu	0.026
Aluminium	Al	0.030
Vanidium	V	0.025
Wolfram	W	0.026
Titanium	Ti	0.00
Niobium	Nb	0.0060
Bismut	B	0.0001
Sulfur	S	0.024
Posfor	P	0.017

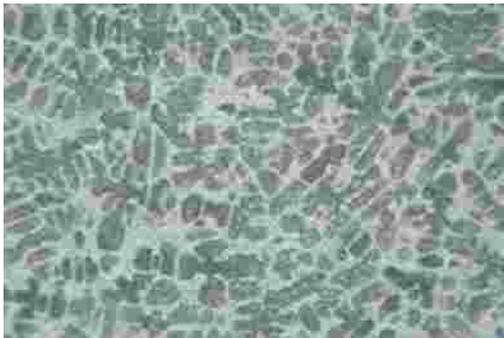
**Data Hasil Pengujian Struktur Mikro**

**1. Logam Induk**

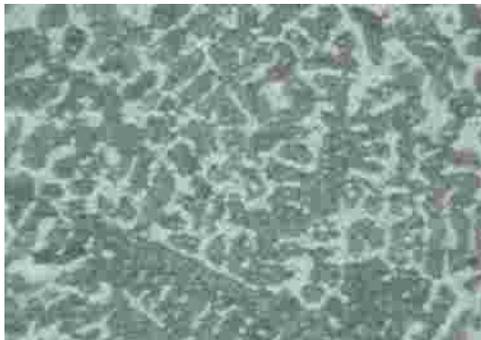


**Gambar 2.** adalah foto struktur mikromaterial dasar baja karbon lunak timah. Perbesaran 500 X

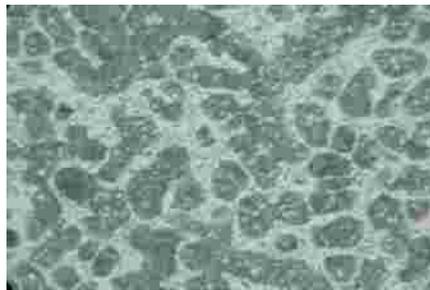
**2. Material lasan Timah (Dengan Pengamatan Waktu)**



**Gambar 3.** adalah foto struktur mikro material lasan timah dengan waktu pengelasan 1 menit. Perbesaran 500 X



**Gambar 4.** adalah foto struktur mikro material lasan timah dengan waktu pengelasan 2 menit. Perbesaran 500 X

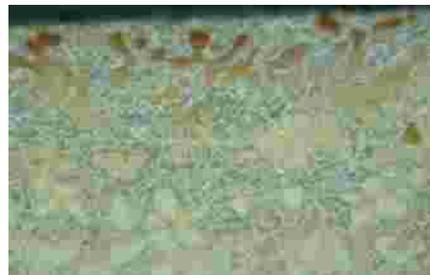


**Gambar 5.** adalah foto struktur mikro material lasan timah dengan waktu pengelasan 3 menit. Perbesaran 500 X

**3. Material Lasan Perak (Dengan Pengamatan Waktu)**



**Gambar 6** adalah foto struktur mikro material lasan perak dengan waktu pengelasan 1 menit. Perbesaran 500 X



**Gambar 7** adalah foto struktur mikro material lasan perak dengan waktu pengelasan 2 menit. Perbesaran 500 X



**Gambar 8** adalah foto struktur mikro material lasan perak dengan waktu pengelasan 3 menit. Perbesaran 500 X

### Pembahasan

Berikut ini akan dibahas mengenai hasil pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian komposisi kimia dan pengujian struktur mikro.

#### Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Pada diagram dan data hasil pengujian, benda uji dengan menggunakan material lasan timah dengan waktu pengelasan 1 menit, 2 menit, dan 3 menit. Setelah diberi penekanan sebesar 0,5 Kgf, memiliki kekerasan yang rendah dimana kekerasan rata-rata yang dihasilkan hanya 15,49 Kgf/mm<sup>2</sup>, 49,41 Kgf/mm<sup>2</sup>, 43,61 Kgf/mm<sup>2</sup>, sedangkan yang tidak dilakukan pengamatan waktu kekerasan rata-rata yang diperoleh yakni 12,4 Kgf/mm<sup>2</sup>. Pada material lasan perak dengan waktu pengelasan 1 menit, 2 menit, dan 3 menit. Setelah diberikan penekanan sebesar 0,5 Kgf, memiliki kekuatan yang tinggi dimana kekerasan rata-rata yang dihasilkan mencapai 143,86 Kgf/mm<sup>2</sup>, 132,56 Kgf/mm<sup>2</sup>, 117,06 Kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan yang tidak dilakukan pengamatan waktu kekerasan rata-rata yang dihasilkan yakni sebesar 142,70 Kgf/mm<sup>2</sup>.

#### Pembahasan Hasil Uji Tarik

Penyajian data hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel dan diagram. Pada diagram dan tabel hasil pengujian tarik spesimen tanpa pengamatan waktu awal terlihat bahwa pada awalnya plat baja karbon rendah dengan menggunakan lasan timah dengan waktu pengelasan ( $t = 1$  menit) masih sanggup menahan tarikan awal tanpa menyebabkan terjadinya perubahan dengan besarnya pembebanan 0.5 kg, selanjutnya pengelasan dengan timah ini mulai mengalami regangan seiring dengan laju pembebanan yang terus meningkat sampai pada pembebanan maksimum 1,5 kg, plat baja karbon ini mulai berdeformasi dengan  $L = 1,75$  mm, mengakibatkan elastis hingga plastis sampai akhirnya terjadi patahan pada pembebanan sebesar 2,35 kg. Kemudian untuk plat baja karbon rendah yang dilas dengan menggunakan elektroda timah dengan waktu pengelasan yang ditambah dengan pemanasan mula logam induk ( $t = 2$  Menit) terlihat hal yang serupa bahwa pengelasan dengan menggunakan elektroda timah mengalami regangan seiring laju pembebanan yang terus meningkat sampai pada pembebanan maksimum sebesar 2,30 Kg. Plat baja karbon mulai berdeformasi dengan  $L =$

0.5 mm. Pada plat ketiga dengan elektroda timah dan waktu pemanasan logam induk serta selesainya pengelasan membutuhkan waktu ( $t = 3$  menit) terlihat hal yang sama dengan pengujian yang pertama dan kedua laju pembebanan yang terjadi sampai pada batas maksimumnya sebesar 2,20 Kg, plat baja karbon mulai berdeformasi dengan  $L = 0.75$  mm.

Berikutnya pada diagram dan tabel hasil pengujian tarik spesimen plat baja karbon rendah yang dilas dengan jenis las tumpang menggunakan elektroda perak dengan waktu pemanasan mula logam induk ditambah dengan proses pengelasannya memakan waktu ( $t = 1$  menit) bahwa pada awalnya plat masih sanggup menahan tarikan awal tanpa menyebabkan terjadinya perubahan besar, selanjutnya plat baja karbon mulai mengalami regangan seiring dengan laju pembebanan yang terus meningkat sampai pada pembebanan yang maksimal sebesar 2,85 Kg, plat mulai berdeformasi dengan  $L = 1,25$  mm, adapun untuk spesimen yang kedua ( $t = 2$  menit) dan ketiga ( $t = 3$  menit) yang mempunyai beban maksimal yang sama sebesar 2,60 Kg dan 2,20 Kg dengan besar nilai deformasi untuk spesimen kedua adalah  $\Delta L = 2,60$  mm dan untuk spesimen ketiga nilai deformasi dengan  $L = 2,20$  mm.

Diagram yang dihasilkan membentuk garis melengkung konstan, semakin melengkung garis diagram kekuatan tarik dan regangan, maka semakin ulet bahan yang diuji

- Kekuatan tarik tertinggi dari pengelasan plat baja karbon rendah dengan menggunakan elektroda timah memiliki kekuatan tarik sebesar 0,0326 Kg/mm<sup>2</sup>.
- Kekuatan tarik tertinggi dari pengelasan menggunakan elektroda perak terdapat pada spesimen awal yang memiliki kekuatan tarik sebesar 0,0395 Kg/mm<sup>2</sup>.

#### Pembahasan Hasil Uji Komposisi Kimia

Dari data hasil pemeriksaan komposisi kimia seperti yang diberikan pada tabel 2, dapat dilihat bahwa bahan sample las (logam dasar) adalah termasuk dalam kelompok baja karbon tahan karat tipe 308 menurut standar AISI (*American Iron and Steel Institute*). Bahan ini mempunyai kandungan Fe 99.60 % dengan kandungan karbon sebesar 0.046%. Kandungan

yang dimiliki oleh sample masih lebih rendah dari batas maksimum yang dipersyaratkan oleh AISI untuk tipe 308. Kemudian bila dilihat dari kandungan khrom dan nikel yang hampir sama dengan unsur karbonnya yaitu 0.041 % dan 0.018 %, kedua kandungan tersebut dapat membuat bahan ini mempunyai struktur austenit yang stabil pada temperatur ruangnya, unsur-unsur lain yang terdapat pada logam induk (*Base Metal*) tidak terlalu besar nilainya akan tetapi memiliki pengaruh terhadap logam induk seperti silikon 0.017%, Manganese 0.26 % Molibdenum 0.0018 %, Tembaga 0.026 %, Aluminium 0.030%, Vanadium 0.025%, Wolfram 0.026%, Titanium 0.00%, Niobium 0.006 %, Bismut 0.0001%, Sulfur 0.024%, dan Posfor 0.017%. Dimana pengaruh unsur paduan dan proses perlakuan panas sangat mempengaruhi dalam menghasilkan perubahan jenis yang baik pada mikrostruktur dan susunannya (*Karakteristik*). Satu unsur paduan dapat mengubah unsur lainnya, sehingga dapat saling mempengaruhi antar unsur paduan. Hubungan ini harus diperhatikan saat menentukan perubahan dalam komposisi baja

### **Pembahasan Hasil Pengujian Struktur Mikro**

#### **Material Dasar**

Pada gambar 2 dengan perbesaran 500 X, terlihat bahwa pada material dasar baja karbon rendah memperlihatkan adanya matrik ferrit pada sisi batas butir, dimana matrik ferrit mempunyai sifat lunak dan ulet. Batas butir terlihat dalam jumlah yang sangat banyak dengan bentuk yang tipis/ halus.

#### **Material Lasan Timah (*Tin Solder*)**

Pada gambar 3 dengan perbesaran 500 X, terlihat bahwa pada material lasan timah memperlihatkan adanya butiran dendrit didalam matriks eutektik, dan terbentuk matrik ferrit dengan jumlah yang tidak begitu banyak. Jumlah matrik pada gambar 3 bersifat homogen dan jarak antar matrik rapat.

Pada gambar 4 dengan perbesaran 500 X, masih sama dengan gambar 3 akan tetapi susunan matrik-matrik terlihat nampak lebih besar dengan jarak antar matrik agak renggang.

Pada gambar 5 dengan perbesaran 500 X, masih sama dengan gambar 3 akan tetapi susunan matrik-matrik terlihat nampak bertambah besar

dengan jarak antar matrik yang sangat berjauhan.

#### **Material Lasan Perak (*Silver Solder*)**

Pada gambar 6 dengan perbesaran 500 X, terlihat bahwa pada material lasan perak memperlihatkan adanya matrik ferrit, Perlit, Austenit ditambah dengan matrik  $Ag_3Fe_2$  yang mempunyai warna coklat kekuning-kuningan dan terlihat adanya porositas pada sisi kiri.

Pada lampiran gambar 7 dengan perbesaran 500 X, masih sama seperti pada gambar 6, hanya butiran matrik  $Ag_3Fe_2$  yang mempunyai warna coklat kekuning-kuningan dengan motif bunga besar terlihat lebih banyak dan tersebar merata dan jarak antar matrik yang tidak berjauhan, nampak matrik ferrit sangat sedikit dan kecil sedangkan porositas tidak terlihat.

Pada lampiran gambar 8 dengan perbesaran 500 X, masih sama seperti pada gambar 7, matrik  $Ag_3Fe_2$  yang mempunyai warna coklat kekuning-kuningan besar terlihat bertambah dengan jarak antar matrik yang semakin rapat.

### **KESIMPULAN**

Kekerasan benda uji dengan material pengelasan timah dengan waktu pengelasan 1 menit adalah 15,49  $Kgf/mm^2$ , 2 menit adalah 49,41  $Kgf/mm^2$ , dan 3 menit adalah 43,61  $Kgf/mm^2$ , sedangkan untuk material pengelasan perak dengan waktu pengelasan 1 menit adalah 143,86  $Kgf/mm^2$ , 2 menit adalah 132,56  $Kgf/mm^2$ , dan 3 menit 117,06  $Kgf/mm^2$ .

Pada pengujian tarik kekuatan tarik tertinggi dari pengelasan timah sebesar 0,0326  $Kg/mm^2$  dan kekuatan tarik terendah sebesar 0,0298  $Kg/mm^2$ . kekuatan tarik tertinggi dari pengelasan menggunakan elektroda perak memiliki kekuatan tarik sebesar 0,0395  $Kg/mm^2$  dan kekuatan tarik terendah sebesar 0,0305  $Kg/mm^2$ .

Pada pengujian komposisi kimia bahwa bahan uji kandungan Fe 99.60 % dengan kandungan karbon sebesar 0.046%. khrom 0.041 % dan nikel 0.018 %, silikon 0.017%, Manganese 0.26 % Molibdenum 0.0018 %, Tembaga 0.026 %, Aluminium 0.030%, Vanadium 0.025%, Wolfram 0.026%, Titanium 0.00%, Niobium 0.006 %, Bismut 0.0001%, Sulfur 0.024%, dan Posfor 0.017%.

Sedang pada pengujian struktur mikro untuk pengelasan dengan menggunakan elektroda timah hanya mempunyai dua matrik yaitu matrik dendrite dan sedikit matrik ferrit sedangkan untuk pengelasan dengan menggunakan elektroda perak terdapat empat matrik yaitu matrik ferrit, matrik Perlit, matrik austenit dan butiran matrik  $Ag_3Fe_2$  yang mempunyai warna coklat kekuning-kuningan dengan jumlah mendominasi dengan bentuk bermotif bunga .

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Jurusan Metalurgi Universitas Indonesia.,  
Modul Panduan Praktikum Ilmu  
Logam Laboratorium Uji Merusak dan  
Laboratorium Metalografi., Jakarta 2004.
- Smallman., R. E. Metalurghi Fisik Modern  
Edisi 4., PT. Gramedia Pustaka Utama.,  
Jakarta 1984.
- Sriati Djafri., Metalurgi Mekanik Edisi 3.,  
Airlangga., Jakarta 1996.
- Sriwidharto., Petunjuk Kerja Las., Cetakan  
Kedua., PT. Pradnya Paramitha., Jakarta.,  
1992.
- Sucahyo Bagyo., Ilmu Logam., PT. Tiga  
Serangkai., Jakarta 1995.
- Tata Surdia dan Shinroku Saito., Pengetahuan  
Bahan Teknik., Pradnya Paramitha.,  
Jakarta 2000.
- Unit Pelaksana Teknik, Laboratorium Uji  
Konstruksi., Unit Pelaksana Teknik  
Badan Pengkajian dan Penerapan  
Teknologi, PUSPITEK-Serpong.,
- Wirjosumarto. H dan Okumura Toshi,  
Teknologi Pengelasan logam. Cetakan  
kelima., Pt. Pradnya Paramitha., Jakarta  
1991.