

## **TERBENTUKNYA ENDAPAN *CHROM CARBIDE* ( $Cr_{23}C_6$ ) PADA BATAS BUTIR DAN KARAKTERISTIK BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK 316 L SETELAH PROSES LAS GAS *TUNGSTEN ARC WELDING***

**R. Djoko Andrijono\***

### **Abstrak**

Teknologi pengelasan banyak digunakan untuk berbagai macam keperluan industri manufaktur di bidang pemotongan, penyambungan atau penyatuan dan reparasi. Salah satu proses penyambungan dengan proses las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) banyak digunakan pada proses pengelasan baja tahan karat austenitik. Baja tahan karat austenitik akibat proses las GTAW dengan variasi kuat arus listrik sebesar 90 A, 100 A, 110 A, maka mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur pengelasan semakin tinggi dan pengaruh sensitisasi dapat menimbulkan terjadinya endapan *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) pada batas butir (*grain boundary*). Penelitian yang dilakukan menitik beratkan pembahasan mekanisme pembentukan *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) dan sifat kekerasan daerah lasan (*weldment*) yang terdiri dari logam induk, daerah pengaruh panas dan logam lasan. Hasil penelitian angka kekerasan pada logam induk rata-rata 144,4 BHN ( tidak terjadi perubahan sifat kekerasan ) dan angka kekerasan pada daerah pengaruh panas 257, BHN, 263 BHN, 266 BHN dan angka kekerasan pada logam lasan 265 BHN, 332 BHN, 347 BHN, sehingga secara umum angka kekerasan tertinggi terjadi pada logam lasan. Logam induk tidak terjadi perubahan struktur mikro, logam lasan dan daerah pengaruh panas terjadi perubahan struktur mikro.

Kata kunci : *baja tahan austenitik, las GTAW, kekerasan, endapan chrom carbide (  $Cr_{23}C_6$  ).*

### **PENDAHULUAN**

Proses pengelasan (*welding process*) adalah merupakan ikatan metalurgi antara dua logam sejenis yang terjadi pada suatu sambungan dalam keadaan lumer atau plastis. Untuk melakukan proses pengelasan, bahan atau logam yang akan dilas harus dapat lumer atau plastis akibat pengaruh energi panas. Bahan atau logam yang akan dilas diutamakan sejenis atau memiliki persamaan dari segi titik leleh atau unsur yang menyusun logam tersebut, sehingga logam dapat menyatu dengan baik. Untuk memperoleh sumber energi panas pada proses pengelasan dapat diperoleh melalui : campuran zat asam dengan *acetylene*, busur nyala listrik, tahanan listrik, reaksi kimia dan gelombang elektromagnetik.

Tujuan penelitian adalah menganalisa pengaruh variasi kuat arus listrik terhadap sifat kekerasan pada logam lasan (*weld metal*), daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) atau daerah HAZ, logam induk (*base metal*) setelah baja tahan karat austenitik mengalami proses las *Gas Tungsten Arc Welding* (*GTAW*) dan mengamati struktur mikro logam lasan, daerah pengaruh panas, logam induk serta menganalisa pembentukan endapan *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) akibat pengaruh energi panas yang ditimbulkan oleh pemakaian variasi kuat arus listrik. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi kepada kalangan industri manufaktur, khususnya di bidang proses pengelasan (*welding process*) dengan penggunaan proses las *GTAW* untuk mengelas baja tahan karat austenitik.

---

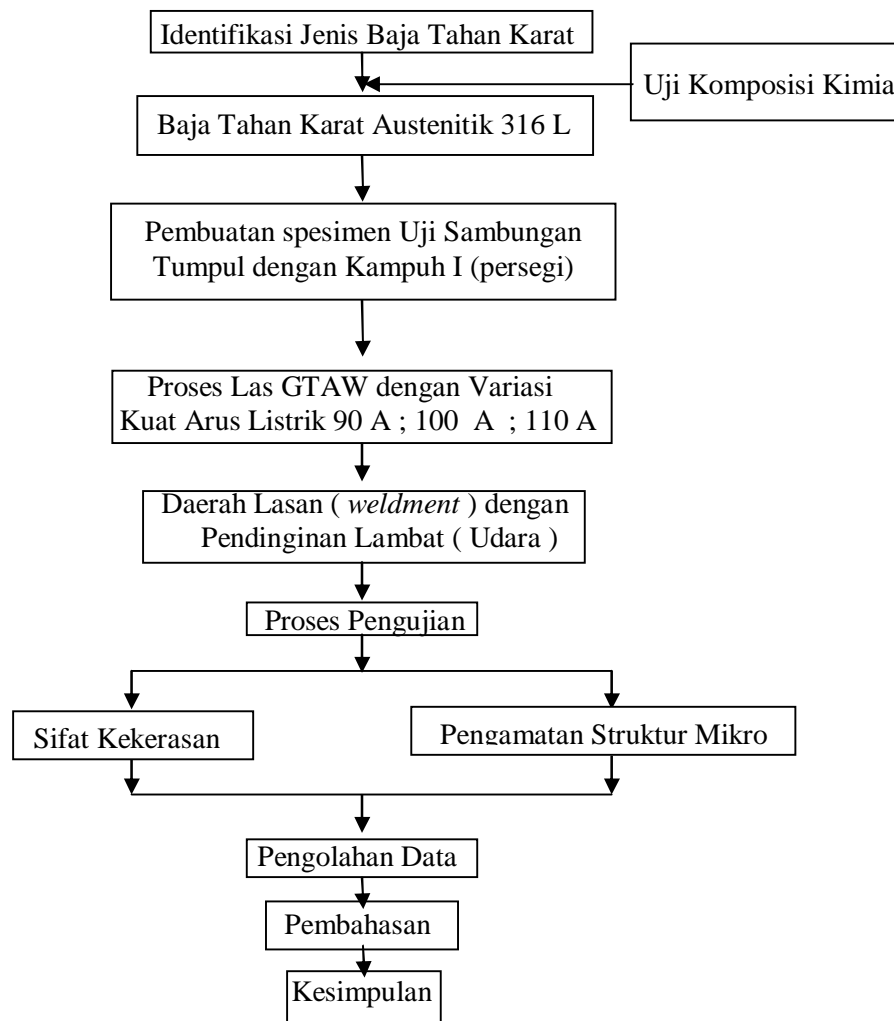
\* Dosen Jurusan Mesin Fak. Teknik Univ. Merdeka Malang

## KAJIAN PUSTAKA

Baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steel*) terdiri dari 16 – 25 % Cr ditambah unsur nikel (Ni), unsur mangan (Mn) yang memiliki sifat tahan korosi, mampu las yang baik, mampu ditempa, tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas, dapat dikeraskan dengan proses pengerjaan dingin (*cold working*), bersifat nonmagnetik, kekuatan luluh yang rendah, ketangguhan yang baik dan memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). (Pickering F.B, 1988)

Salah satu jenis proses las yang dapat digunakan untuk mengelas baja tahan karat austenitik adalah las elektroda tak terumpan (*non consumable electrode*) atau dikenal dengan sebutan *Gas Tungsten Arc Gas Welding* (GTAW)... (ASM Committee on GTAW, 1983). Sumber listrik yang digunakan dapat berupa listrik DC (*Direct Current*) atau AC (*Alternating Current*). Dalam hal pemakaian listrik DC rangkaianannya dapat dengan polaritas lurus (*straight polarity*) dimana kutub positif (+) dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif (-) dengan batang elektroda atau sebaliknya yang disebut dengan polaritas balik (*reverse polarity*)... (Harsono Wirjosumarto, 1985)

## Metodologi Penelitian



## **MATERI DAN METODE PENELITIAN**

### **Peralatan Penunjang Penelitian**

Peralatan yang digunakan meliputi :

1. Mesin – mesin : *Metallographic, Pregrinder, Polishing Machine, Electrolytic Etcher, Specimen Dryer, Mounting Press, Film Processing Aparatus, Shaper Machine*, las *GTAW ( Gas Tungsten Arc Welding )*, *Brinell Hardness Number ( BHN )*, mesin spektrometer.
2. Peralatan penunjang lain : kertas gosok dengan *grade # 200 s/d # 1200*, larutan etsa, peralatan kerja bangku, peralatan keselamatan kerja las ( masker las, pelindung dada, sarung tangan )

### **Variabel pengujian :**

1. Jenis material teknik : baja tahan karat austenitik berbentuk plat
2. Jumlah sampel uji : 6 (enam) sampel uji kekerasan
3. Ukuran sampel uji : panjang 120 mm, lebar 50 mm, tebal 1,5 mm
4. Jenis las : *Gas Tungsten Arc Welding ( GTAW )*
5. Kuat arus listrik : 90 A, 100 A, 110 A
6. Tegangan : 220/380 volt
7. Kecepatan pengelasan : konstan
8. Pendinginan : lambat ( udara ).
9. Gas pelindung : *argon ( Ar )*
10. Kawat pengisi : baja tahan karat austenitik
11. Bentuk sambungan : tumpul ( *butt joint* )
12. Jenis kampuh : I ( persegi )

### **Batasan dan Metode Pengujian**

#### 1. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan mesin spektrometer yang pelaksanaannya pada bagian logam induk dan logam lasan setelah baja tahan karat austenitik mengalami proses las *GTAW* dengan variasi kuat arus listrik 90 A, 100 A, 110 A.

#### 2. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell Hardness Number ( BHN )* dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan sifat kekerasan antara logam induk, daerah pengaruh panas dan logam lasan setelah baja tahan karat austenitik mengalami proses las *GTAW* dengan variasi kuat arus listrik 90 A, 100 A, 110 A.

#### 3. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop logam dengan tujuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terdapat pada logam induk, daerah pengaruh panas dan logam lasan setelah baja tahan karat austenitik mengalami proses las *GTAW* dengan variasi kuat arus listrik 90 A, 100 A,

110 A. Proses pengamatan struktur mikro, diawali dengan melakukan proses pengamplasan pada *metallographic pregrinder* dengan grade # 200, # 400, # 600, # 1000, # 1200 dan dilanjutkan proses pemolesan menggunakan *alumina* pada *polishing machine*. Sampel uji yang telah mengalami proses pemolesan, maka dilakukan proses pengetsaan dengan menggunakan HF + 7 ml HNO<sub>3</sub> 5 ml, H<sub>2</sub>O 8 ml dan setelah dietsa ditahan selama 2-3 detik, kemudian selanjutnya dicuci dengan air ( H<sub>2</sub>O ) dan alkohol. Tahap akhir sampel uji yang telah mengalami proses pengetsaan, dilakukan proses pengamatan struktur mikro dengan menggunakan pembesaran 100 x.

### Data Hasil Pengujian

#### 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia

**Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia pada Logam Induk Sebelum Proses Las GTAW**

No	Unsur	Simbol	Komposisi Kimia ( % )
1	Besi	Fe	68.51
2	Karbon	C	0,05
3	Silikon	Si	0,33
4	Posphor	P	0,008
5	Sulfur	S	0,006
6	Krom	Cr	18.5
7	Nikel	Ni	11
8	Mangan	Mn	0,75
9	Molibden	Mo	0,22

**Tabel 2. Data Hasil Uji Komposisi Kimia pada Logam Lasan**

No	Unsur	Simbol	Komposisi Kimia ( % ) pada Logam Lasan dengan Variasi Kuat Arus listrik ( I )		
			90 A	100 A	110 A
1	Besi	Fe	61,44	59,68	57,60
2	Karbon	C	0,050	0,049	0,050
3	Silikon	Si	0,030	0,340	0,330
4	Posphor	P	0,001	0,001	0,001
5	Sulfur	S	0,001	0,002	0,001
6	Krom	Cr	24,70	24,90	24,91
7	Nikel	Ni	11,47	12,08	13,40
8	Mangan	Mn	0,810	0,850	1,200
9	Molibden	Mo	1,200	2,100	2,510

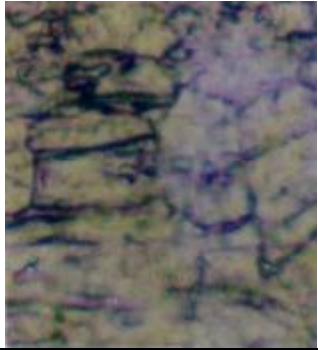
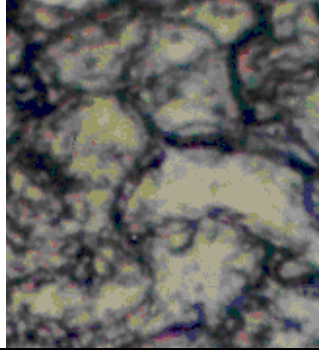
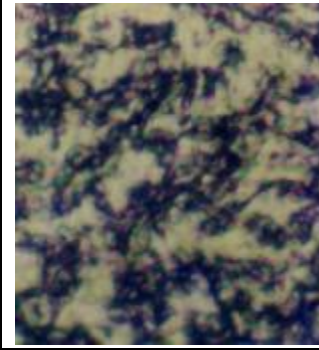
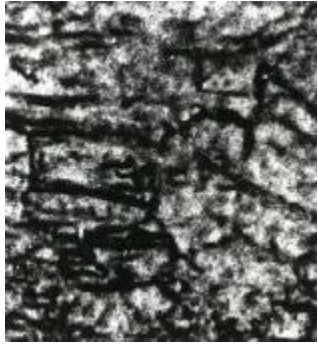
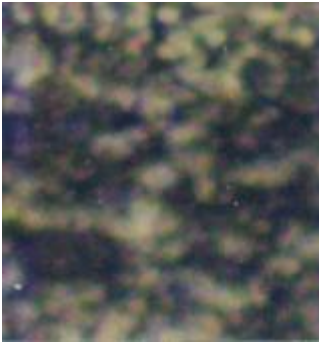
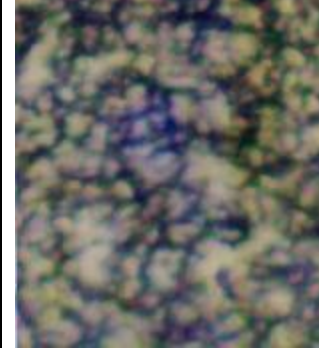
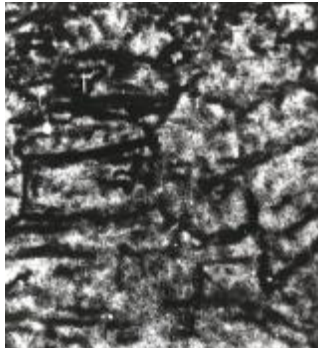

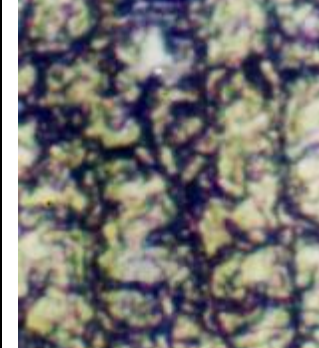
#### 2. Data Hasil Uji Kekerasan

**Tabel 3. Data Hasil Uji Kekerasan pada Daerah Lasan**

No	Daerah Lasan	Kekerasan Rata-Rata ( BHN ) pada Daerah Lasan dengan Variasi Kuat Arus Listrik ( I )		
		90 A	100 A	110 A
1	Logam Induk	244,4	244,4	244,4
2	Daerah Pengaruh Panas	257	263	266
3	Logam Lasan	265	332	347

3. Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro

**Tabel 4. Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro Terhadap Variasi Kuat Arus Listrik ( I )**

No	Kuat Arus	Pengamatan Struktur Mikro ( pembesaran 100 X )		
		Logam Induk	Daerah HAZ	Logam Lasan
1	90 A			
2	100 A			
3	110 A			

**Pembahasan**

**1. Daerah lasan**

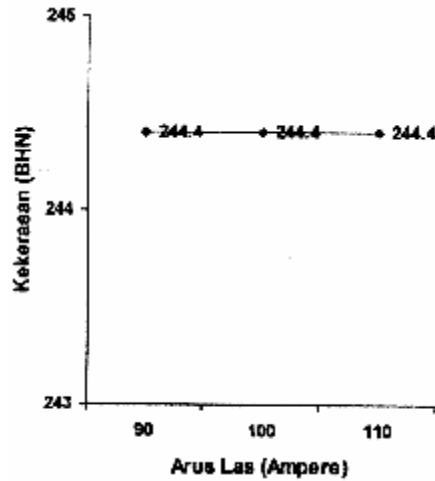
Pada proses pengelasan, energi panas diperlukan untuk melumerkan kawat pengisi (*filler metal*) dan logam induk atau disebut juga logam dasar (*parent metal*). Kawat pengisi akan menerima energi panas yang lebih besar dibandingkan dengan logam induk, hal ini disebabkan kawat pengisi menerima energi panas seluruhnya, sedangkan logam induk hanya menerima energi panas pada bagian permukaan logam yang akan disambung. Oleh karena itu tidak semua permukaan logam

induk terkena pengaruh panas. Peristiwa utama yang terjadi pada proses pengelasan adalah proses pemanasan dan proses pendinginan. Proses pemanasan dan pendinginan pada proses pengelasan berlangsung sangat cepat, hal ini menyebabkan distribusi panas pada kawat pengisi dan logam induk menjadi tidak merata dan disamping itu, distribusi panas yang tidak merata ini akan menyebabkan terbentuknya daerah – daerah yang menerima panas dengan keadaan yang berbeda – beda, peristiwa seperti ini sering disebut dengan istilah daerah lasan ( *weldment* ). Daerah – daerah ini terdiri dari : logam lasan, daerah pengaruh panas ( setelah logam lasan ), daerah batas las (batas antara logam lasan dengan daerah *HAZ*) dan logam induk (daerah tidak terpengaruh panas).

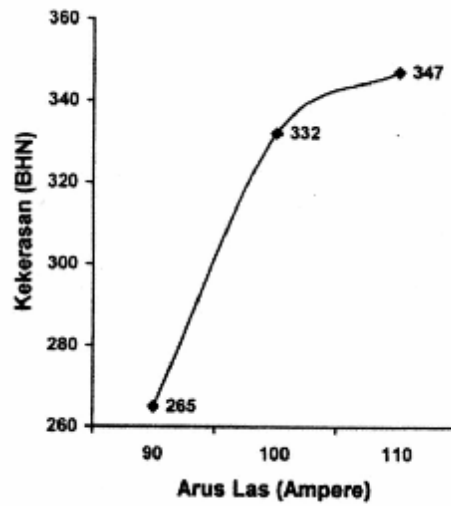
## 2. Sifat Kekerasan

Pemakaian variasi kuat arus listrik semakin tinggi akan meningkatkan energi panas yang ditimbulkan semakin tinggi, tetapi energi panas yang terjadi pada saat proses pengelasan berlangsung tidak dapat mengubah sifat mekanis ( sifat kekerasan ) ( tabel 3 dan grafik 1 ) dan tidak terjadi peristiwa sensitisasi pada logam induk. Faktor penyebab sifat kekerasan dan tidak terjadi sensitisasi, karena logam induk merupakan daerah tidak terpengaruh panas, sehingga energi panas tidak dapat merubah besar butir dan unsur krom ( Cr ) serta unsur karbon ( C ) untuk bersenyawa atau bereaksi membentuk endapan *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) pada batas butir ( *grain boundary* ).

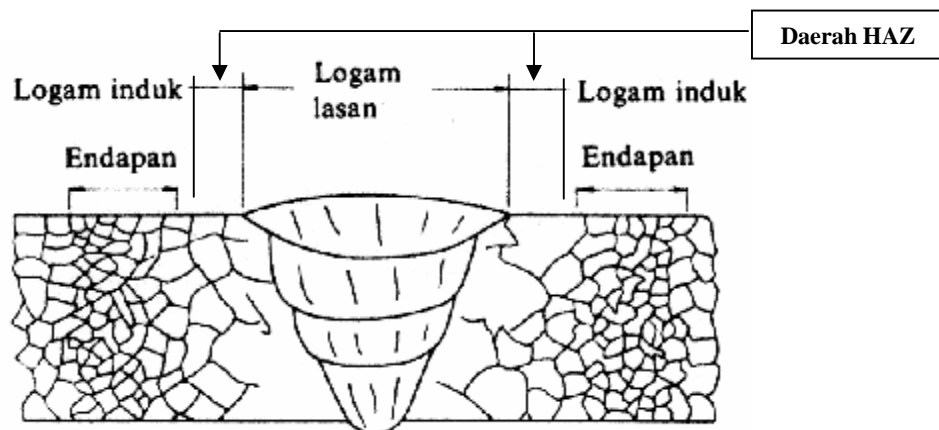
Daerah pengaruh panas merupakan bagian dari logam induk yang bersebelahan dengan logam lasan, dimana selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan. Energi panas yang diterima pada daerah ini lebih rendah dibandingkan dengan logam lasan, tetapi energi panas ini mampu untuk mengubah sifat mekanis ( sifat kekerasan ) dan struktur mikro terhadap baja tahan karat austenitik yang dilas ( logam yang dilas ) setelah dilakukan proses pendinginan lambat ( *non quenching* ). Berdasarkan hasil uji kekerasan tabel 3 dan grafik 2 dengan pemakaian variasi kuat arus listrik semakin tinggi akan menimbulkan energi panas semakin tinggi, sehingga sifat kekerasan pada daerah pengaruh panas semakin tinggi, hal ini dipengaruhi oleh adanya perubahan besar butir pada daerah *HAZ* semakin halus dan terjadinya sensitisasi akibat pendinginan lambat dari  $820^{\circ}C$  ke  $471^{\circ}C$  yang dapat menyebabkan terbentuknya *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) yang mengendap pada batas butir. Terbentuknya endapan *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) terjadi pada temperatur  $650^{\circ}C$  ( gambar 1 ) yang menyebabkan penurunan sifat ketahanan korosi. Sifat kekerasan pada daerah *HAZ* secara umum lebih rendah dibandingkan sifat kekerasan logam lasan, hal ini disebabkan adanya atom – atom unsur krom ( Cr ) akan bereaksi dengan atom –atom unsur karbon ( C ) membentuk endapan *chrom carbide* (  $C_{23}C_6$  ) pada batas butir, dimana disekitar batas butir akan kekurangan krom bebas, akibatnya disekitar batas butir akan terjadi lapis lindung krom ( Cr ), sehingga batas butir akan mudah terserang korosi yang mengakibatkan terjadinya korosi batas butir ( *intergranular corrosion* ). Logam lasan merupakan bagian dari kawat pengisi terbuat dari bahan yang sejenis seperti logam induk ( baja tahan karat austenitik ) yang mencair akibat energi panas dan selanjutnya membeku akibat pendinginan lambat.



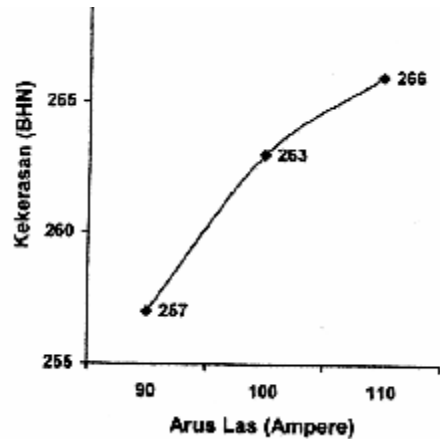
Grafik 1. Sifat Kekerasan Logam Induk Terhadap Variasi Kuat Listrik ( I )



Grafik 2. Sifat Kekerasan Daerah Pengaruh Panas Terhadap Variasi Kuat Arus Listrik ( I )



Gambar 1. Endapan Antar Butir *Chrom Carbide* ( $Cr_{23}C_6$ )



**Grafik 3. Sifat Kekerasan Logam Lasan Terhadap Variasi Kuat Arus Listrik ( I )**

Sifat kekerasan pada logam lasan secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan sifat kekerasan daerah pengaruh panas ( grafik 2 dan grafik 3 ), hal ini disebabkan oleh pengaruh bahan kawat pengisi terbuat dari baja tahan karat austenitik dengan persentase unsur nikel ( Ni ) dan krom ( Cr ) yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam induk ( tabel 1 ). Untuk mengetahui sifat kekerasan dan sifat tahan korosi pada logam lasan sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia logam lasan. Metoda untuk mengetahui hubungan antara komposisi kimia dalam bentuk ekuivalen nikel ( Ni ) dan ekuivalen krom ( Cr ) dapat dianalisa menggunakan diagram *Schaeffler* ( gambar 2 ) dengan persamaan ekuivalen Ni = ( % Ni ) + 30 x ( % C ) + 0,5 % ( % Mn ) dan ekuivalen Cr = ( % Cr + % Mo + 1,5 % x Si + 0,5 ). Berdasarkan hasil uji komposisi kimia pada logam lasan ( tabel 2 ), maka besarnya ekuivalen nikel ( Ni ) dan ekuivalen krom ( Cr ) dapat dihitung dengan persamaan diatas, sesuai dengan besarnya variasi masing – masing variasi kuat arus listrik ( tabel 5 ). Secara umum dengan semakin tinggi masukan panas akibat variasi kuat arus listrik, maka Ni ekuivalen lebih tinggi Cr ekuivalen yang terjadi pada logam lasan ( tabel 5 ), sehingga tidak mengalami pengetasan ferit ( *ferrite embrittlement* ) ( gambar 2 ).

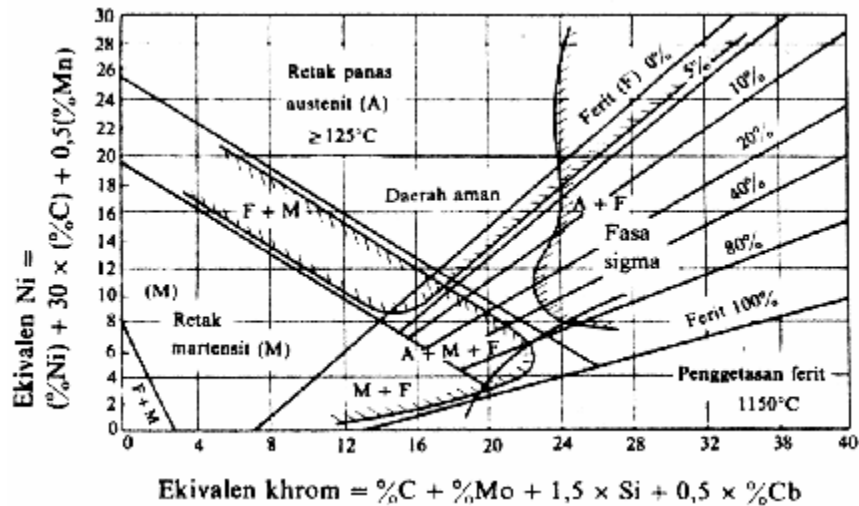
**Tabel 5. Ekuivalen Nikel dan Ekuivalen Krom Berdasarkan Diagram *Schaeffler***

No	Ni Ekuivalen & Cr Ekuivalen	Komposisi Kimia Logam Lasan ( % ) dengan Variasi Kuat Arus Listrik ( I )		
		90 A	100 A	110 A
1	Ek.Ni	26,89	28,01	28,41
2	Ek.Cr	13,37	13,97	15,5

**Tabel 6. Persentase Fasa pada Logam Lasan ( *weld metal* )**

No	Jenis Fasa Yang Terbentuk pada Logam Lasan	Persentase ( % ) Fasa pada Logam Lasan dengan Variasi Kuat Arus Listrik ( I )		
		90 A	100 A	110 A
1	Austenit ( $\gamma$ )	80	79	82
2	Ferit ( $\alpha$ )	20	21	18





Gambar 2. Diagram *Schaeffler* pada Proses Pengelasan Baja Tahan Karat  
 Sumber : Harsono Wirjosumarto, 1985.

### 3. Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro logam induk dengan pemakaian variasi kuat arus listrik semakin tinggi, maka berdasarkan pengamatan struktur mikro ( tabel 4 ), tidak terjadi perubahan struktur mikro, hal ini disebabkan energi panas yang diterima oleh logam induk lebih rendah dibandingkan dengan daerah pengaruh panas atau distribusi panas terjadi pada logam lasan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pengaruh panas serta terendah pada logam induk. Daerah pengaruh panas yang letaknya berdekatan dengan logam lasan memiliki struktur mikro yang hampir sama dengan ( menyerupai ) struktur mikro logam lasan. Akibat adanya pemakaian variasi kuat arus listrik semakin tinggi, maka struktur mikro pada daerah pengaruh panas akan berubah secara berangsur – angsur dari struktur mikro logam induk ke struktur mikro logam lasan ( tabel 4 ). Struktur mikro pada logam lasan ( tabel 4 ) dapat dianalisa menggunakan diagram *Schaeffler* ( gambar 2 ), maka hubungan antara harga nikel ekivalen dan krom ekivalen akan diperoleh bahwa letak logam lasan pada daerah austenit – ferit ( daerah aman ), karena berdasarkan persentase fasa ferit (  $\alpha$  ) lebih besar dari 4 % ( tabel 6 ), sehingga secara metalurgi las pada logam lasan tidak terjadi retak pembekuan karena terdapatnya fasa ferit (  $\alpha$  ).

### SIMPULAN

1. Logam induk tidak terjadi perubahan sifat kekerasan dan daerah pengaruh panas sifat kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan logam lasan.
2. Endapan *chrom carbide* (  $Cr_{23}C_6$  ) terjadi pada batas butir yang menyebabkan penurunan sifat ketahanan korosi.
3. Fasa austenit (  $\gamma$  ) lebih dominan dibandingkan dengan fasa ferit (  $\alpha$  ) pada logam lasan

## DAFTAR PUSTAKA

- Lancaster, J.F. 1980. *Metallurgy of Welding* 3<sup>rd</sup>.ed, George Allen and Unwin, London.
- Pickering, F.B. 1988. *Physical Metallurgical Development of Stainless Steel*. Sheffield  
Welding Handbook 4<sup>th</sup>.ed. Volume 5.1962. *Application of Welding*, American Welding Society.
- Miami Kennedy, Gower A. 1976. *Welding Technology*, Howard W, Sams and Co, Inc USA.
- ASM Committee on GTAW 1983. *Gas Tungsten Arc Welding*, Metals Handbook Vol 6 edisi ke 9,  
American Society for Metal, Metal Parks, Ohio.
- Harsono Wiryosumarto, 1985. *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ketiga. PT. Pradnya  
Paramita, Jakarta.