

# Analisis Kekerasan Mekanik dan Struktur Mikro Branch With Reinforced Pad Setelah Close Range Multilayer Welding Spool 4I84-0008-01-1 Line Project

**Farel Divaio Fianda<sup>1\*</sup>, Budi Prasajo<sup>2\*</sup>, Dianita Wardani<sup>3\*</sup>, Fahmi Zuhrufil Ahbab<sup>4\*</sup>**

*Program studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1\*2\*3\*4</sup>*

*Email: [fareldivaio@student.ppns.ac.id](mailto:fareldivaio@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [budiprasajo@ppns.ac.id](mailto:budiprasajo@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [dianitawardani@ppns.ac.id](mailto:dianitawardani@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>; [fahmizuhrufil@student.ppns.ac.id](mailto:fahmizuhrufil@student.ppns.ac.id)<sup>4\*</sup>*

**Abstract** - The research involved conducting Vickers hardness tests and Microstructure analysis to evaluate the material changes after welding. The research aimed to improve understanding of how the welding process impacts material integrity and performance, particularly in industrial applications. Analyzing the results obtained from the test results, this research provides valuable insights into the quality and characteristics of welded joints. The findings contribute to optimizing welding procedures and material selection to improve structural integrity and mechanical properties. In conclusion, analysis of the results from this study found that the hardness of the material is still in the safe to use category and does not need further treatment after welding.

**Keywords:** Hardness, Microstructure, Material, Welding procedure

## Nomenclature

HAZ	Heat Affected Zone
HV	hardness vickers
P	gaya tekan (kg)
PWHT	post weld heat treatment
WPS	Welding Procedure Specification
d	diagonal indentasi (mm)
gf	gram force

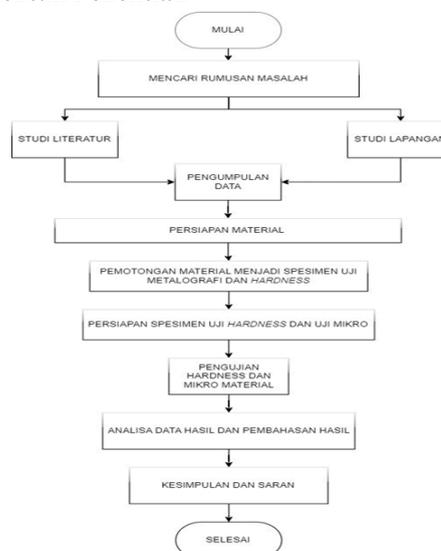
## 1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan proses krusial dalam industri manufaktur yang memungkinkan penyambungan logam untuk membentuk struktur yang kokoh. Namun, seringkali hasil pengelasan tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, menyebabkan ketidaksesuaian dalam produksi. Contoh konkret terjadi pada pengelasan *Close Range Multilayer* di *Reinforced Pad* pada gambar isometrik spool 4I84-N-0008-01-1, di mana ditemukan cacat material yang terutama terlihat pada struktur mikro. Kelebihan kekerasan pada struktur mikronya tidak memenuhi standar kriteria *maksimum acceptable hardness* sesuai spesifikasi pemilik proyek, mengakibatkan perlunya pemrosesan kembali material dengan perlakuan (*Post Weld Heat Treatment*) PWHT di sekitar area tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekerasan dan struktur mikro material pada *Branch with Reinforced Pad* setelah perlakuan *Close Range Multilayer Welding*. Metode yang digunakan mencakup uji kekerasan *Vickers* untuk mengetahui kekerasan material terdampak pengelasan dan pengujian

metalografi untuk memahami karakteristik material secara mendalam terutama pada struktur mikro material. Batasan penelitian ini terfokus pada analisis struktur mikro dan kekerasan material di sekitar area pengelasan berulang *Reinforced Pad A106-B* pada spool 4I84-N-0008-01-1, dengan pengecualian terhadap aspek lain dari proses pengelasan atau material yang tidak terkait langsung. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga untuk meningkatkan kualitas dan keandalan hasil pengelasan dalam konteks industri fabrikasi.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Bentuk Penelitian

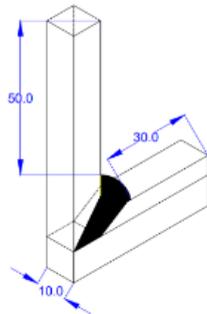


Pada penelitian ini akan dilakukan pengelasan pada material yang sudah ditentukan, kemudian sifat mekanik material dilakukan pengujian dengan uji *Hardness Vickers* dengan kriteria *maximum acceptable hardness* <250 HV sesuai dengan *WPS (Welding Procedure specification)* fabrikator dan Pengujian mikro material yang dapat menunjukkan karakteristik dari material setelah dilakukan *Close Range Multilayer Welding*. Penelitian ini berdasarkan data.

### 2.2 Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian struktur mikro penyusun material setelah mendapat perlakuan *Close Range Multilayer Welding* untuk didapat perubahan struktur setelah pengelasan, kemudian dilakukan pengujian kekerasan *vickers* untuk dilakukan interpretasi terhadap pengujian struktur mikro.

### 2.3 Persiapan Material



Setelah mendapatkan *spool* 4I84-0008-01-1 kemudian dilakukan pemotongan material untuk dibuat spesimen pengujian dengan dimensi 50mm x 30mm x 10mm.

### 2.4 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk struktur mikro yang terbentuk dari pengelasan. Analisa pengujian metalografi perlu dilakukan karena struktur mikro material baja akan tampak secara jelas dan dapat mengetahui dampak dari pengelasan pada *Base metal*, *HAZ*, dan *Weld metal*. Agar permukaan logam dapat diamati secara metalografi maka terlebih dahulu dilakukan persiapan berikut :

1. Pemotongan Spesimen  
Bentuk spesimen datar sehingga memudahkan untuk pengamatan
2. *Mounting* Spesimen (bila diperlukan).  
spesimen hanya dilakukan untuk material yang kecil atau tipis saja. Untuk material yang tebal tidak memerlukan mounting
3. *Grinding* dan *Polishing*  
*Grinding* dan *polishing* bertujuan untuk membentuk permukaan spesimen yang benar benar rata. *Grinding* dilakukan dengan menggosok spesimen pada *hand*

*grinding* yang diberi kertas gosok dengan urutan grit paling kasar sampai grit yang halus. Sedangkan *polishing* dilakukan dengan menggosok spesimen diatas *hand grinding* yang dilengkapi kain woll dan diberi serbuk alumina dengan kehalusan 1 –0,05 mikron.

### 4. Etsa (*etching*)

Proses etsa pada dasarnya adalah proses korosi yakni mengkorosikan permukaan spesimen yang telah rata karena proses *grinding* dan *polishing* menjadi tidak rata lagi. Ketidakrataan permukaan spesimen ini dikarenakan mikrostruktur yang berbeda akan dilartukan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula.

### 2.5 Pengujian *Hardness*

Pengujian *Hardness* dilakukan dengan menggunakan metode *vickers* dan menggunakan beban 1000gf dengan indenter *diamond* piramida. 136°. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dihasilkan dari proses pengelasan menggunakan variasi di atas. Pengujian ini dilakukan di semua lokasi pemotongan untuk mendapatkan hasil yang optimal dan akurat. Berikut adalah hal yang harus diperhatikan ketika melakukan *vickers*:

1. Spesimen harus memenuhi persyaratan dengan permukaan diharuskan rata halus dan Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan uji harus horizontal.
2. Indentor yang digunakan adalah *pyramid* intan yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°.
3. Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk plat yang tipis harus digunakan beban yang ringan.
4. Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan indenter pada permukaan spesimen selama 10 – 30 detik.
5. Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan DPH (*Vickers Diamond Pyramid Hardness*) yang dihitung berdasarkan diagonalindentasi dengan Persamaan sebagai berikut :

$$DPH = \{ 2P \sin (\alpha/2) \} / d2$$

$$= 1,854P/d2$$

Untuk :  $\alpha = 136^\circ$

Dimana : P = Gaya tekan (kgf)

d = diagonal indentasi (mm)

**2.6 Analisis Data**

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini yaitu analisis terhadap data pengujian yang sudah dilakukan. Data tersebut digunakan acuan penentuan terhadap material dan juga interpretasi untuk hasil setelah dilakukan pengujian terhadap pengaruh material setelah perlakuan *Close Range Multilayer Welding*. Langkah selanjutnya adalah pengambilan kesimpulan dari data hasil pengujian.

**3.HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Hasil Pengujian Hardness Vickers**

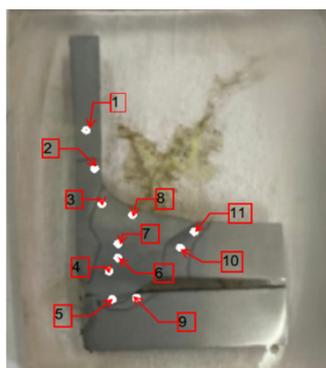
Pengujian *Hardness Vickers* yang dilakukan pada spesimen mendapatkan data sebagai berikut yang akan disajikan tabel:

Tabel 1 hasil pengujian *Hardness Vickers*.

Titik Uji	Hasil Hardness Vickers (HV)	Kriteria Acceptable <250 HV
1	131,88	Acceptable
2	157,20	Acceptable
3	192,43	Acceptable
4	159,25	Acceptable
5	184,13	Acceptable
6	161,28	Acceptable
7	183,15	Acceptable
8	185,37	Acceptable
9	163,39	Acceptable
10	190,92	Acceptable
11	190,40	Acceptable

**3.2 Hasil Pengujian Metalografi**

Pengujian metalografi yang dilakukan pada spesimen pengujian didapatkan hasil sebagai berikut yang akan disajikan tiap titik melalui gambar dan tabel berikut.

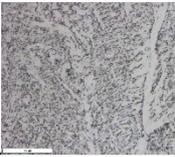


Gambar 1. Titik Pengujian Spesimen

Setelah dilakukan Etsa kemudian dilakukan pengambilan gambar struktur mikro (metalografi) pada spesimen material sesuai titik pada gambar dengan pembesaran 200x dan 500x diatas.

Tabel 2 hasil pengujian Metalografi (struktur mikro) pembesaran 200x dan 500x.

Titik Pengujian	Pembesaran	
	200x	500x
Titik 1		
Titik 2		
Titik 3		
Titik 4		
Titik 5		
Titik 6		
Titik 7		
Titik 8		
Titik 9		

Titik Pengujian	Pembesaran	
	200x	500x
Titik 10		
Titik 11		

### 3.3 Pembahasan Hasil Hardness Vickers dan Metalografi material setelah pengujian.

#### 3.3.1 Analisa Pengujian Hardness Vickers

Pengujian *Hardness Vickers* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material setelah dilakukan pengelasan. Nilai dari titik pengujian *Hardness Vickers* bervariasi pada *Base metal*, *HAZ (Heat Affected Zone)*, dan *Weld metal* dikarenakan perbedaan masukan termal yang terjadi.



Gambar 2. Grafik hasil nilai uji Hardness Vickers

Gambar diatas menunjukkan hasil kekerasan material dengan metode *Vickers* dan dilakukan pengujian sesuai titik pada Gambar 1, pada pengujian kekerasan *Vickers* diambil nilai dari titik *Base metal*, *HAZ*, dan *Weld metal*. Gambar 2 menunjukkan kenaikan tertinggi pada titik 3 pengujian dengan nilai kekerasan “192,43 HV” yang berlokasi pada *Heat Affected Zone (HAZ)* dan nilai terendah pada titik 1 pengujian dengan nilai kekerasan “131,88 HV” yang berlokasi di *Base metal* spesimen material yang diuji.

#### 3.3.1.1 Kekerasan pada Base metal

Kekerasan *Base metal* ditunjukkan pada titik 1 pengujian dengan nilai “131,73 HV”, kekerasan pada *Base metal* sesuai dengan spesifikasi material *ASME Section IX Table QW/QB-422* dengan *minimum tensile* 415 Mpa atau 130 HV. Struktur mikro ditunjukkan *pearlite* dan *ferrite* dengan struktur mikro *ferrite* yang lebih dominan. *Base metal* juga menjadi acuan

dalam kenaikan maupun penurunan material setelah efek pengelasan pada *HAZ (Heat Affected Zone)* dan *Weld metal*.

#### 3.3.1.2 Kekerasan pada HAZ (Heat Affected Zone)

Kekerasan pada *HAZ* mengalami kenaikan pada hasil pengujianya dengan nilai kekerasan pada titik 3 “192,43 HV”, titik 5 “184,13 HV”, titik 9 “163, 39 HV”, titik 10 “190,92 HV”, dan titik 11 “190,40”. Nilai tertinggi kekerasan pada *HAZ* yaitu pada titik 3 pengujian dengan nilai “192,43 HV” hal ini terjadi karena pada hasil pengujian struktur mikro terdapat dominan *pearlite* dan *grain boundaries ferrite* yang dominan mampu menambah kekerasan pada material. Kekerasan dalam *Heat Affected Zone (HAZ)* juga masih memenuhi standard *Maximum Hardness Vickers* material dengan nilai *maximum* kekerasan “250 HV”.

#### 3.3.1.3 Kekerasan pada Weld metal

Kekerasan pada *Weld metal* sedikit mengalami penurunan dari *Heat Affected Zone (HAZ)* dan kenaikan jika dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan pada *Base metal* spesimen dengan nilai pengujian *Weld metal* pada titik 4 “159,25 HV”, titik 6 “161,28 HV”, titik 7 “183,25 HV”, dan titik 8 185,37 HV”. Kenaikan nilai *hardness* pada titik pengelasan dapat terjadi dikarenakan pada spesifikasi *tensile strength* pengisi pengelasan (*filler*) memiliki rata-rata kekuatan dengan satuan *tensile strength* “75.500 psi” atau “480 MPa” yang jika dikonversikan menjadi nilai kekerasan (*Hardness Vickers*)[2] didapatkan nilai “150 HV” yang berarti nilai kekerasan *Weld metal* harus lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekerasan pada daerah *Base metal* yang memiliki nilai “415 MPa” atau “130 HV”. Struktur mikro *Weld metal* dapat mempengaruhi nilai kekerasan material dimana terlihat daerah butir *grain boundary ferrite* yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dari *Weld metal* butir *cementite* yang timbul setelah pengujian titik 7 yang terjadi karena pendinginan struktur *pearlite* yang lebih cepat kemudian mengalami penambahan masukan termal kembali, hal ini juga menyebabkan perbedaan nilai kekerasan material pada titik 6 “161,28 HV” dan titik 7 “183,25 HV” pengujian karena perbedaan masukan termal berupa *layer* saat pengelasan, kenaikan pada nilai kekerasan *Weld metal* juga masih memenuhi standard *maximum acceptable hardness* karena memiliki nilai kekerasan <250 HV, hasil struktur mikro menunjukkan material aman untuk digunakan karena struktur mikro tidak didominasi *martensite* dan *cementite* yang meningkatkan potensi *brittle* (getas) pada material.

#### 3.3.2 Analisis Pengujian Metalografi (struktur mikro)

Pengujian struktur mikro dilakukan pada daerah *Base metal*, *Weld metal*, dan *HAZ*. Pada pengamatan ini dilakukan menggunakan pembesaran 200x dan 500x.

### 3.3.2.1 Struktur mikro base metal

Menurut analisis hasil pengujian dan panduan *ASM hand book metalography* pada *Base metal* (seperti pada titik 1 pengujian) struktur mikro yang terbentuk adalah *ferrite* (berwarna terang) dan *pearlite* (berwarna gelap). Struktur *ferrite* terlihat lebih dominan dari struktur *pearlite* sehingga mengakibatkan kekerasan dari *Base metal* yang dilakukan pengujian material menjadi rendah. *Base metal* setelah dilakukan pengujian sesuai bersifat *Hypo-eutectoid* yang mengklasifikasikan material yang diuji termasuk pada baja karbon rendah (*low carbon steel*) sesuai standard *ASTM A106 Grade B* dimana dominan *ferrite* berarti baja menjadi lebih lunak dan memiliki kadar karbon kurang dari 0,8%.

### 3.3.2.2 Struktur mikro pada HAZ

Struktur mikro pada daerah terdampak panas pengelasan (*HAZ*) mengalami perubahan pada bentuk butir penyusunnya yang berarti material terpengaruhi kekerasannya karena proses rekristalisasi seperti pada titik 3 pengujian.

Struktur mikro penyusun *HAZ* yang terbentuk berupa *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap), akan tetapi *pearlite* pada *HAZ* lebih dominan dibandingkan *ferrite* seperti pada titik 3 pengujian. Struktur mikro pada daerah *HAZ* mengalami perubahan dan terdapat *grain boundaries ferrite* yang disebabkan besarnya masukan termal dengan proses pendinginan yang relatif lama dan menyebabkan kenaikan nilai kekerasan material dan penurunan ketangguhan material. Struktur mikro pada *HAZ* titik 2 pengujian tersusun atas *ferrite* dan *pearlite*, namun pada titik 2 pengujian tampak struktur mikro *ferrite* dan *pearlite* tidak mengalami perubahan signifikan dari struktur mikro *Base metal* material dikarenakan lokasi pengujian dilakukan pada *HAZ* yang dekat dengan *Base metal* sehingga daerah terdampak panas tidak setinggi dengan titik 3 akan tetapi daerah yang diuji mengalami perubahan pada struktur mikro-nya, dan bintik-bintik gelap menandakan terjadinya inklusi dan terjadi transformasi fasa yang kurang sempurna [4]. Struktur mikro pada *HAZ* titik 5 pengujian tersusun atas *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap) dengan butir lebih besar dan merata, pada titik 5 pengujian tampak struktur mikro *pearlite* yang lebih dominan dikarenakan mendapat perlakuan panas lebih tinggi karena lokasi pengujian condong ke daerah *Weld metal*, yang berarti lebih dominan *pearlite* maka kekerasan material pada titik 5 pengujian lebih besar dari *Base metal*. Struktur

mikro pada *HAZ* titik 9 pengujian tersusun atas *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap), namun pada titik 9 pengujian tampak struktur mikro *pearlite* yang lebih dominan dikarenakan mendapat perlakuan panas lebih tinggi dari struktur mikro *Base metal*, yang berarti dominan *pearlite* maka kekerasan material pada titik 9 pengujian lebih besar dari *Base metal*. Struktur mikro pada *HAZ* titik 10 pengujian tersusun atas struktur mikro *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap), tampak pada titik 10 pengujian struktur mikro didominasi oleh *pearlite* dikarenakan mendapat perlakuan panas lebih tinggi, akan tetapi ukuran butir struktur mikro tidak jauh berbeda dari struktur mikro pada titik 9 pengujian dikarenakan titik pengujian 9 dan titik pengujian 10 berlokasi lebih condong ke daerah *Base metal* yang menyebabkan material tetap memiliki struktur *acicular ferrite* dan *pearlite* yang hampir sama besar yang berarti lebih dominan *pearlite* maka kekerasan material pada titik 10 pengujian lebih besar dari *Base metal*. Struktur mikro penyusun *HAZ* yang terbentuk pada titik 11 pengujian terdiri dari *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap), akan tetapi *pearlite* pada *HAZ* lebih dominan dibandingkan *ferrite* seperti pada titik 3 pengujian. Struktur mikro yang terbentuk pada daerah *HAZ* mengalami perubahan dan terdapat *grain boundaries ferrite* yang disebabkan besarnya masukan termal dengan proses pendinginan yang lama dan menyebabkan kenaikan nilai kekerasan pada daerah terdampak panas pengelasan (*HAZ*). Struktur *ferrite* dalam proses terbentuknya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti inklusi. Inklusi merupakan partikel halus yang terjadi akibat adanya reduksi atau oksidasi pada saat berlangsungnya proses sambungan las yang tidak ikut larut dalam cairan logam las. Sedangkan terbentuknya inklusi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti komposisi kimia *Base metal*, filler las, gas pelapis, udara, atau fluks yang digunakan. Struktur *acicular ferrite* mampu menghambat laju proses perambatan retak atau getas sehingga akan meningkatkan ketangguhan dan keuletan dari logam hasil las, Hal ini juga berbanding terbalik jika pada logam las struktur mikro yang terbentuk berupa *grain boundary ferrite* maka akan terjadi penurunan keuletan dan ketangguhan [3].

### 3.3.2.3 Struktur mikro pada Weld metal

Struktur mikro pada *Weld metal* mengalami perubahan pada butir penyusunnya dimana terdapat *acicular ferrite* (putih terang), *pearlite* (gelap), *grain boundary ferrite*, dan butir *cementite* yang sedikit dikarenakan masukan panas yang tinggi tetapi material mendapat pendinginan lambat dan stabil seperti pada titik 7 pengujian. Pada hasil pengujian struktur mikro *Weld metal* terlihat daerah butir *grain boundary*

*ferrite* yang dapat terjadi karena kristalisasi butir *ferrite* pada saat pencairan logam yang mendingin dan dapat mempengaruhi sifat mekanis dari material yang mengalami maupun terdampak proses pengelasan, butir *cementite* yang timbul setelah pengujian titik 7 terjadi karena pendinginan struktur *pearlite* yang lebih cepat kemudian mengalami penambahan masukan termal kembali, *Cementite* timbul sebagai fase yang keras dalam struktur mikro, dan keberadaannya dapat mempengaruhi kekuatan material setelah las. Analisa hasil pengujian terhadap material dapat disimpulkan bahwa kekerasan material setelah dilakukan uji kekerasan (*hardness test*) masih dalam *acceptable allowance material* < 250 HV.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa hasil penelitian yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan penelitian struktur mikro dan sifat mekanis berupa kekerasan material dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis hasil struktur mikro menunjukkan material aman untuk digunakan karena struktur mikro tidak didominasi *martensite* dan *cementite* yang meningkatkan potensi *brittle* (getas).
2. Analisa hasil uji terhadap material dapat disimpulkan bahwa kekerasan material setelah dilakukan uji kekerasan (*hardness test*) masih dalam *acceptable allowance material* < 250 HV.

#### 5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisa hasil penelitian dan kesimpulan yang telah didapatkan pada material yang sudah dilakukan pengelasan *Close Range Multilayer* pada *branch with reinforced pad*, terdapat beberapa saran yang bisa digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Menggunakan metode pengujian lain seperti uji tarik (*tensile test*) dan uji komposisi material (SEM / OES).
2. Melakukan pengujian struktur mikro dan uji kekerasan (*hardness test*) pada material yang sebelumnya dilakukan PWHT maupun *preheat*.
3. Dilakukan uji material (struktur mikro dan *hardness test*) yang sudah dilakukan *Close Range Multilayer* dengan ketebalan (sch) yang berbeda.

#### 6. PUSTAKA

- [1] Alip, M. 1989. Teori dan Praktek Las. Yogyakarta: IKIP Yogyakarta.
- [2] Modul Uji Bahan PPNS, (2019). "Uji

Kekerasan".

- [3] Suharno, Iman, M.N., & Jamasri. 2005. "Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam.
- [4] G.F.Van der Voort, Metallography, Principles and Practice. Technology and Engineering. Books.google.co.id. 1999.