

## PENGARUH *HEAT INPUT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS SAMBUNGAN TIG PADA *STAINLESS STEEL 304*

Wartono<sup>(1)</sup>, Aditiya E. P.<sup>(2)</sup>, Dian N. R.<sup>(3)</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
<sup>(1,2,3)</sup> Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta  
e-mail:<sup>1</sup> wartono\_sttnas@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *heat input* terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan *tungsten inert gas (TIG)* pada *stainless steel 304*. Pada umumnya, daerah sambungan las *TIG* mengalami proses pelunakan dan penurunan sifat mekanis dibanding logam induknya.

Proses *TIG* dilakukan pada *stainless steel 304* dengan tebal 5 mm dan alur kampuh V sudut 60°, dengan sambungan las jenis *butt joint*. Proses pengelasan dengan variabel *heat input* masing-masing sebesar 3,51 kJ/mm; 3,73 kJ/mm; 3,95 kJ/mm.

Hasil pengujian pada sambungan *TIG* menunjukkan hasil pengujian kekerasan *Vickers* tertinggi pada *weld metal* dengan *heat input* 3,51 kJ/mm yaitu sebesar 168,3 Kg/mm<sup>2</sup>. Hasil pengujian impak tertinggi pada sambungan las dengan *heat input* 3,73 kJ/mm yaitu sebesar 2,047 J/mm<sup>2</sup>. Hasil pengujian kekuatan lengkung tertinggi pada sambungan las dengan *heat input* 3,51 kJ/mm yaitu sebesar 1671,70 MPa.

**Kata kunci:** *Stainless Steel 304, Las TIG, heat input, struktur-mikro, sifat mekanis.*

### Abstract

*The objective of this research is to find out the effect of heat input on microstructure and mechanical properties in stainless steel 304 that has undergone a process of tungsten inert gas (TIG). In general, local TIG welded joints undergo softening and decreased mechanical properties than the parent metal.*

*TIG process performed on stainless steel 304 with a thickness of 5 mm and a V groove weld - angle of 60 °, with the weld type butt joint. The welding process on Heat input variations by 3,51 kJ/mm; 3,73 kJ/mm; 3,95 kJ/mm.*

*The test results on TIG process, the highest vickers hardness test results showed in weld metal with heat input by 3,51 kJ/mm of 168.3 Kg / mm<sup>2</sup>. The highest impact test result showed in weld joint with heat input by 3,73 kJ/mm of 2,047 J/mm<sup>2</sup>. The highest bending strength test result showed in weld joint with heat input by 3,51 kJ/mm of 1671,70 MPa.*

**Keywords :** *304 Stainless Steel, TIG Welding, heat input, microstructure, mechanical properties.*

## 1. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini perkembangan teknologi di bidang konstruksi sangatlah pesat. Hal tersebut tidak dapat dipisahkan dari teknik pengelasan karena pengelasan memiliki peranan yang sangat penting dalam reparasi dan rekayasa logam. Penyambungan dengan teknik pengelasan menghasilkan konstruksi yang kuat dan proses pembuatannya sangat sederhana dan cepat, tetapi semua itu membutuhkan keterampilan dan ketelitian yang sangat tinggi bagi *welder* serta persiapan yang dilakukan.

Menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*), pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan

menggunakan energi panas. Pengelasan dengan *Tungsten Inert Gas (TIG)* merupakan pengelasan yang banyak digunakan karena menghasilkan sambungan yang sangat kuat.

Pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG)* merupakan proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda tak terumpan atau tidak ikut mencair. Pada pengelasan *TIG* elektroda atau tungsten hanya berfungsi sebagai penghasil busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, sedangkan untuk logam pengisi menggunakan *filler rod*. Gas pelindung yang digunakan pada pengelasan *TIG* dapat menggunakan gas helium (He), gas Argon (Ar), dan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>), (Wiryosumarto H., dkk, 2008).

Pengelasan dilakukan pada bahan baja tahan karat (*stainless steel*) 304. *Stainless steel 304* adalah baja paduan tinggi yang termasuk dalam kelompok baja tahan karat austenit, dengan kandungan unsur 18% Cr dan 8% Ni. Unsur-unsur tersebut merupakan unsur terpenting dalam baja tahan karat. Pada bahan ini kualitas sambungan sangat dipengaruhi oleh masukan panas (*heat input*). Pada pengelasan *TIG* ini, besarnya masukan panas (*heat input*) harus diatur, dan parameter pengelasan yang dapat diatur yaitu tegangan, arus pengelasan, dan kecepatan pengelasan. Besar kecilnya *heat input* dapat diatur pada mesin las.

Syafa'at, dkk, (2018) telah melakukan penelitian dengan metode pengelasan *TIG* dengan pelindung gas argon..Material yang dipilih adalah *stainless steel 304*. Penelitian ini menggunakan variasi arus 60, 70 dan 80 *ampere*. Berdasarkan hasil pengujian spesimen dengan arus 80 *ampere* memiliki tegangan tarik maksimal tertinggi. Hubungan antara kekuatan tarik dan struktur mikro yaitu semakin besar butiran logam pada struktur mikro yang dihasilkan maka tegangan luluhnya semakin kecil karena panas tidak cukup membuat elektroda *tungsten* dan bahan tambahannya meleleh dengan baik.

Sedangkan, Revaldo (2017) juga melakukan penelitian pengelasan dengan variasi sudut kampuh V dengan metode *TIG welding* pada bahan *stainless steel 304* dengan bahan pengisi/*filler rod* ER308L. Arus yang digunakan untuk penembusan 130 *ampere*, 150 *ampere* untuk pengisian dan 140 *ampere* untuk *capping*. Variasi sudut kampuh yang digunakan adalah 30<sup>o</sup>, 50<sup>o</sup>, 60<sup>o</sup>, 70<sup>o</sup>, dan 80<sup>o</sup>. Hasil penelitian yang dilakukan adalah pengelasan dengan sudut 50<sup>o</sup> memiliki kekuatan tarik tertinggi.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh *heat input* terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan *Tungsten Inert Gas (TIG)* pada *Stainless steel 304*.

## 2. METODE PENELITIAN

Tulisan ini disusun berdasarkan hasil percobaan pengelasan *Tungsten Inert Gas* dan pengujian dilakukan sesuai urutan/prosedur berikut ini.

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu bahan baja tahan karat (*stainless steel*) 304, dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 100 mm, tebal 5 mm. Sedangkan bahan mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan dalam tabel 1.

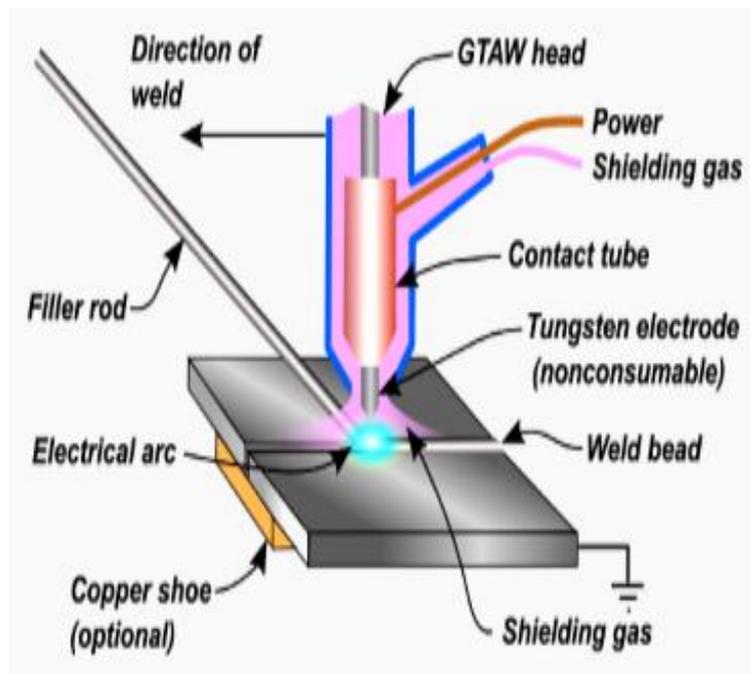
Tabel 1. Hasil komposisi kimia

Unsur	Kadar (%)	
	<i>Raw material</i>	<i>Weld metal</i>
Cr	18,9574	19,5748
Ni	8,6449	9,6334
Mn	1,0492	1,5172
Si	0,7461	0,4518
C	0,0668	0,0417
Cu	0,0614	0,0446
Fe	70,0344	67,9824

## 2.2 Proses Pengelasan

Penelitian ini menggunakan metode pengelasan *TIG* (*Tungsten Inert Gas*) mendatar (*flat*) dengan posisi mengelas 1G, spesimen berupa *sheet plat stainless steel 304* dengan ukuran Panjang 300 mm, lebar 100 mm dan tebal 5 mm yang dibentuk kampuh V sebesar 40° dengan variasi heat input masing-masing sebesar 3,51 kJ/mm; 3,73 kJ/mm; 3,95 kJ/mm. Elektroda yang digunakan yaitu EWTH-2 berdiameter 1,6 mm. *Filler rod* yang digunakan pada penelitian adalah ER 308 dengan diameter 2,4 mm.

Prinsip kerja las *TIG* ditunjukkan pada gambar 1 dibawah :



Gambar 1. Prinsip Kerja Las *TIG*

## 2.3 Heat Input dan Parameter Las

Masukan panas (*heat input*) adalah besarnya energi panas tiap satuan panjang las ketika sumber panas bergerak. Sedangkan parameter pengelasan yang diatur yaitu tegangan, arus pengelasan, dan kecepatan pengelasan, seperti ditunjukkan seperti dalam tabel 2 dibawah.

Tabel 2. *Heat input* dan parameter pengelasan

Benda Uji	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kecepatan las (mm/s)	HI = $E \cdot I \cdot \eta / 1000 \cdot v$ (kJ/mm)
Benda Uji I	160	30	0,82	3,5122
Benda Uji II	170	30	0,82	3,7317
Benda Uji III	180	30	0,82	3,9512

## 2.4 Pengujian-pengujian

### 2.4.1 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik seperti gambar 2 dibawah.

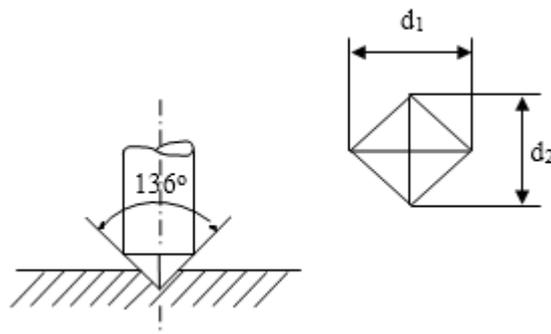


Gambar 2. Mikroskop optik.

Pengujian struktur mikro dilakukan pada arah transversal hasil pengelasan. Pekerjaan meliputi : pemotongan, pengamplasan, pemolesan, *etsa*. Proses *etsa* dengan diberi cairan *hidro flouride (HF)*, kemudian diamati dengan mikroskop optik.

### 2.4.2 Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan untuk mengetahui distribusi kekerasan didaerah *weld metal*, *HAZ*, dan logam induk hasil pengelasan *TIG*, pengujian dilakukan dengan metoda pengujian *Vickers*.



Gambar 3. Bentuk bekas penekanan piramide intan

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan bekas penekanan. Persamaan yang digunakan pada pengujian kekerasan yaitu :

$$VHN = 1,854 \times \frac{P}{d^2}$$

dengan,

P = beban penekanan, kgf

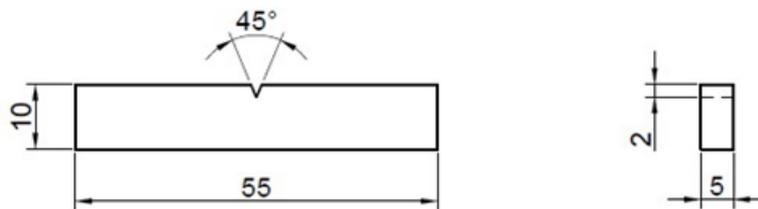
$\theta$  = Sudut piramide intan,  $136^\circ$

d = diagonal rata-rata dari indentasi =  $\frac{d_1+d_2}{2}$ , ( $\mu\text{mm}$ )

### 2.4.3 Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* sambungan las *TIG*, juga dilakukan pada masing-masing variabel proses pengelasan sebanyak 3 buah spesimen, dan sebagai pembanding juga dilakukan pengujian pada *raw material* sebanyak 3 spesimen.

Pemotongan spesimen untuk pengujian *impact* sesuai spesifikasi standar yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 : Spesimen pengujian *Impact* mengacu ASTM E 23, Type A

Pengujian *Impact* ini bertujuan untuk mengukur ketangguhan atau ke mampuan suatu bahan dalam menyerap energi sebelum patah.

#### a. Energi patah spesimen :

$$W = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dengan :

- W = energi patah spesimen (Joule)
- G = Berat pendulum (N)
- R = Jarak pendulum ke pusat rotasi (m)
- $\beta$  = sudut pendulum setelah menabrak spesimen ( $^{\circ}$ )
- $\alpha$  = sudut pendulum tanpa spesimen ( $^{\circ}$ )

#### b. Kekuatan impact spesimen :

$$a = \frac{W}{h + b}$$

Dengan :

- a = kekuatan impact spesimen ( $J/mm^2$ )
- w = energi terserap spesimen (J)
- h = tebal spesimen (mm)
- b = lebar spesimen (mm)

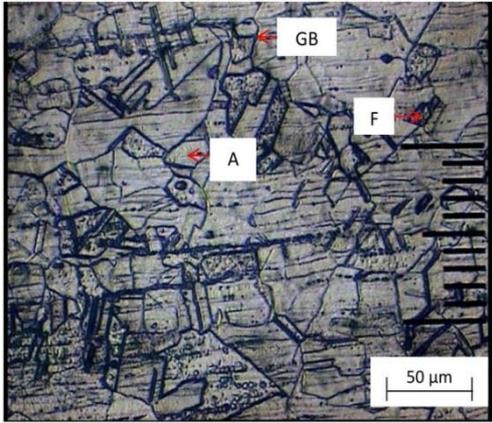
### 2.4.4 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *three point bending*. Sebelum pengujian dilakukan terlebih dahulu menentukan jarak kedua penumpu benda uji. Tebal plat ditentukan sebesar 5 mm dan lebar spesimen 25 mm. Jarak kedua penumpu dalam pengujian *bending* ditentukan sebesar 73,2 mm.

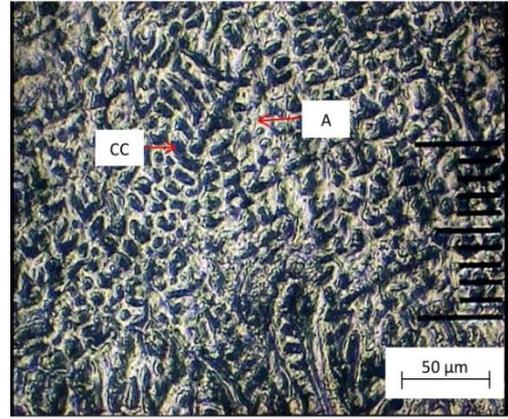
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro

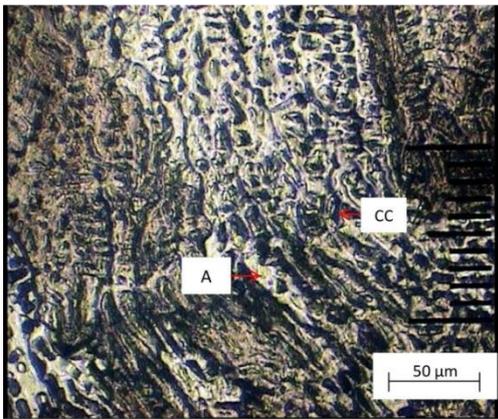
Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati perubahan ukuran butir pada material setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian struktur mikro dilakukan terutama pada daerah las, daerah HAZ dan logam induk, dengan pembesaran 100x.



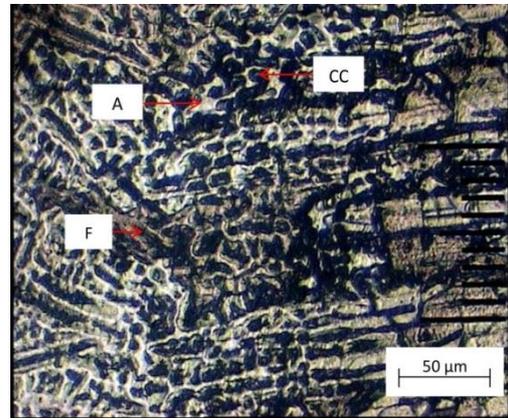
Gambar 5. Raw material



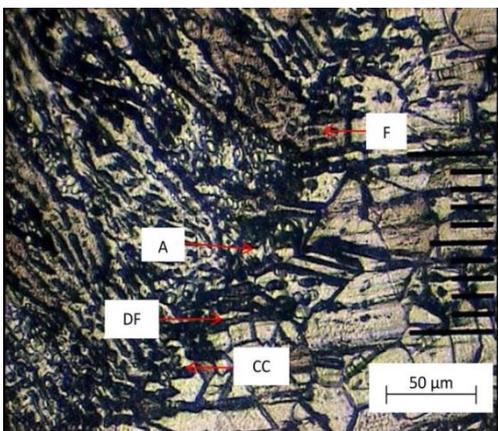
Gambar 6. Weld metal heat input 3,51 kJ/mm



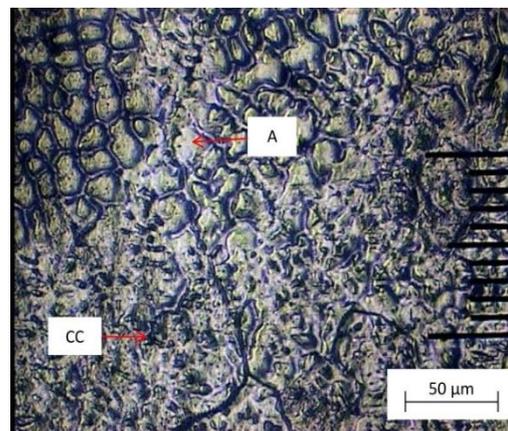
Gambar 7. Batas Weld metal dan HAZ heat input 3,51 kJ/mm



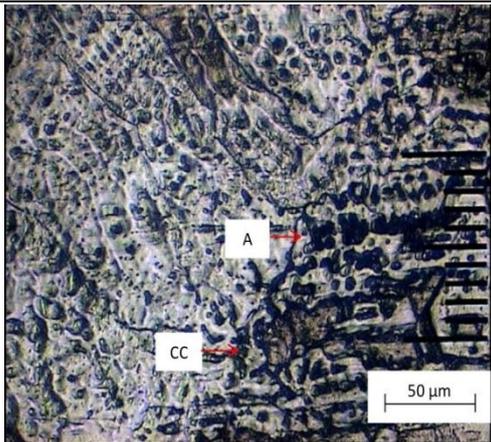
Gambar 8. HAZ heat input 3,51 kJ/mm



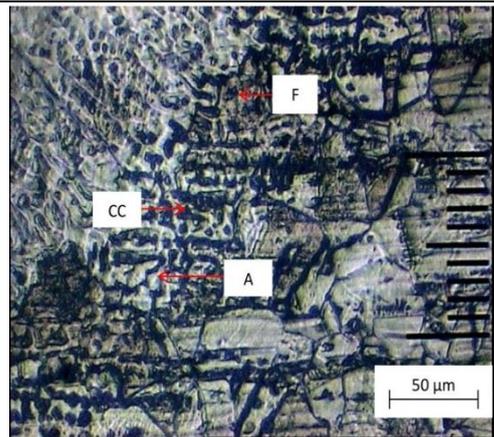
Gambar 9. Batas HAZ dan raw heat input 3,51 kJ/mm



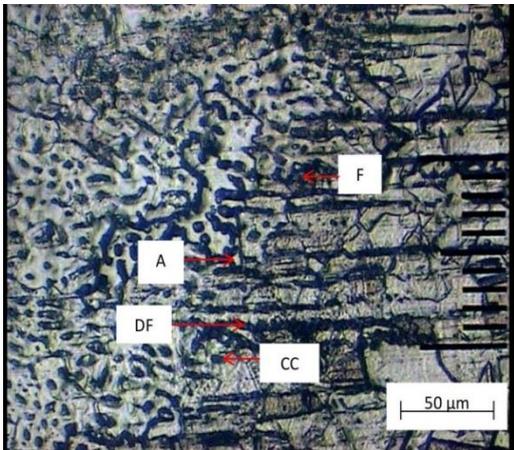
Gambar 10. Weld metal heat input 3,73 kJ/mm



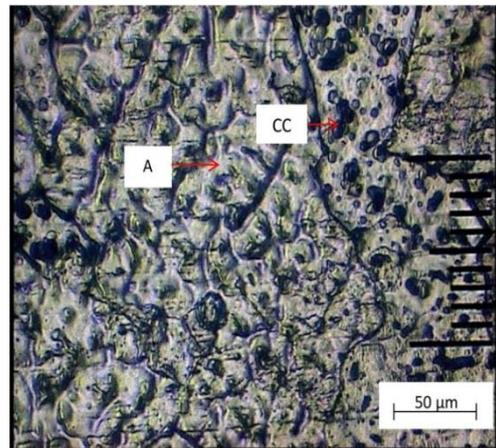
Gambar 11. Batas *Weld metal* dan HAZ *heat input* 3,73 kJ/mm



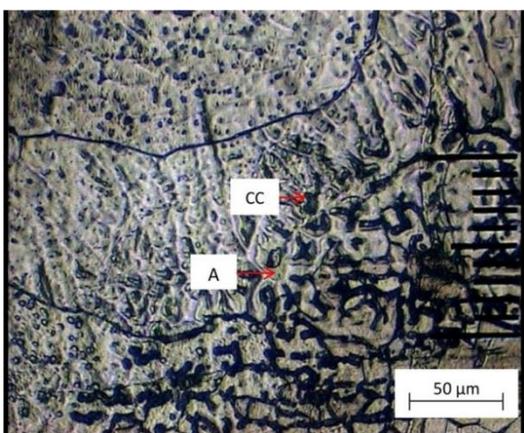
Gambar 12. HAZ *heat input* 3,73 kJ/mm



Gambar 13. Batas HAZ dan *raw heat input* 3,73 kJ/mm



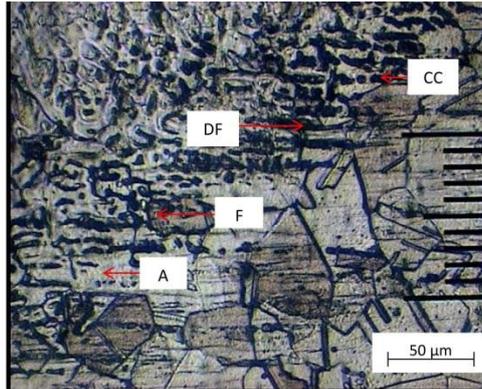
Gambar 14. *Weld metal heat input* 3,95 kJ/mm



Gambar 15. Batas *Weld metal* dan HAZ *heat input* 3,95 kJ/mm



Gambar 16. HAZ *heat input* 3,95 kJ/mm



Gambar 17. Batas HAZ dan raw heat input 3,95 kJ/mm

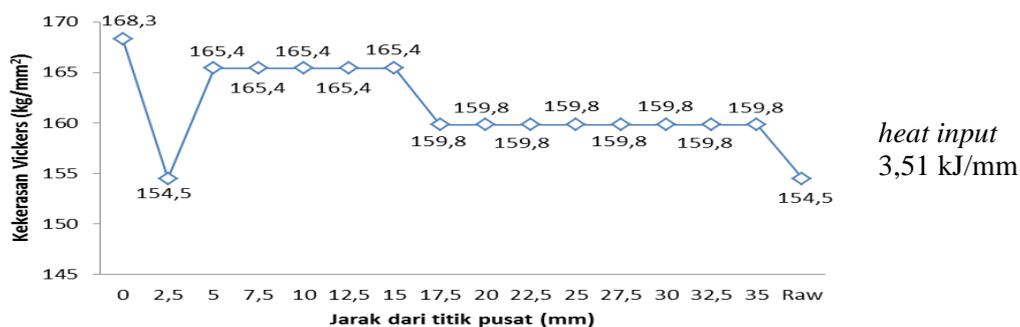
Pada daerah HAZ dapat dilihat bentuk struktur mikronya terdiri dari austenit (A), carbida chrom (CC), delta ferit (DF) dan ferit (F). Pada daerah HAZ *heat input* 3,51 kJ/mm, 3,73 kJ/mm dan 3,95 kJ/mm lebih didominasi carbida chrom (CC). Sedangkan pada *raw* material didominasi struktur austenit (A) dan ferit (F).

Pada daerah *weld metal* dapat dilihat bentuk struktur mikronya yaitu austenit dan carbida chrom. Pada daerah *weld metal heat input* 3,51 kJ/mm didominasi struktur carbida chrom dimana warna yang menonjol yaitu warna hitam dan bentuk strukturnya kecil-kecil serta lebih halus hal ini menyebabkan nilai kekerasannya meningkat. *Weld metal* pada *heat input* 3,73 kJ/mm dan 3,95 kJ/mm terlihat adanya struktur austenit dan carbida chrom namun didominasi dengan struktur austenit dimana warna yang menonjol yaitu warna putih. Bentuk butiran terlihat lebih besar dan kasar hal ini menyebabkan kekerasannya menurun. Sedangkan pada HAZ terlihat struktur austenit dan carbida chrom namun didominasi struktur carbida chrom.

Dengan demikian hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa struktur austenit mendominasi daerah *weld metal* kecuali pada *heat input* 3,51 kJ/mm yang didominasi carbida chrom yang disebabkan karena panas pengelasan kurang tinggi sehingga akan menimbulkan karbida chrom dan mengendap pada saat pendinginan. Semakin tinggi *heat input* yang digunakan menyebabkan butir-butir struktur semakin besar.

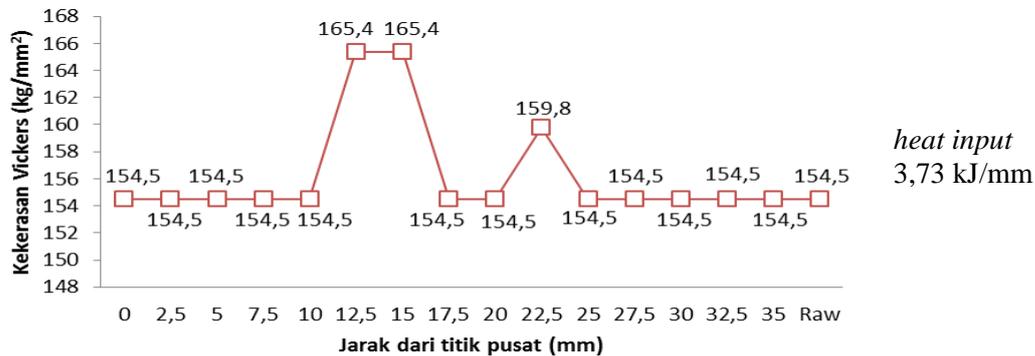
### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan *Vickers*, harga ditunjukkan oleh *penetrator* yang terbuat dari piramida intan, sudut antara sisi piramida 136° ditekankan ke permukaan bagian yang akan diukur dengan beban 30 Kgf. Pengambilan jejak diambil sebanyak 15 kali untuk masing-masing spesimen, pengambilan jejak meliputi logam induk, daerah HAZ dan daerah logam las. Jarak antar titik pembebanan adalah 2,5 mm.



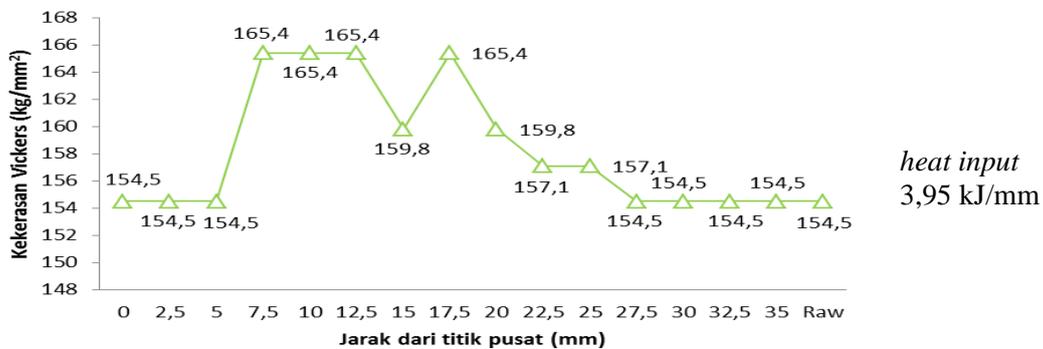
Gambar 18. Grafik nilai kekerasan *Vickers* heat input 3,51 kJ/mm

Dari hasil pengujian kekerasan di atas titik kekerasan tertinggi terdapat dapat daerah *weld metal* dengan nilai kekerasan sebesar 168,3 kg/mm<sup>2</sup> dan titik terlemah pada daerah *raw material* 154,5 kg/mm<sup>2</sup>.



Gambar 19. Grafik nilai kekerasan *Vickers* heat input 3,73 kJ/mm

Dari hasil pengujian kekerasan di atas titik kekerasan tertinggi terdapat dapat daerah HAZ dengan nilai kekerasan sebesar 165,4 kg/mm<sup>2</sup> dan titik terlemah pada daerah *raw material* sebesar 154,5 kg/mm<sup>2</sup>.



Gambar 20. Grafik nilai kekerasan *Vickers* heat input 3,95 kJ/mm

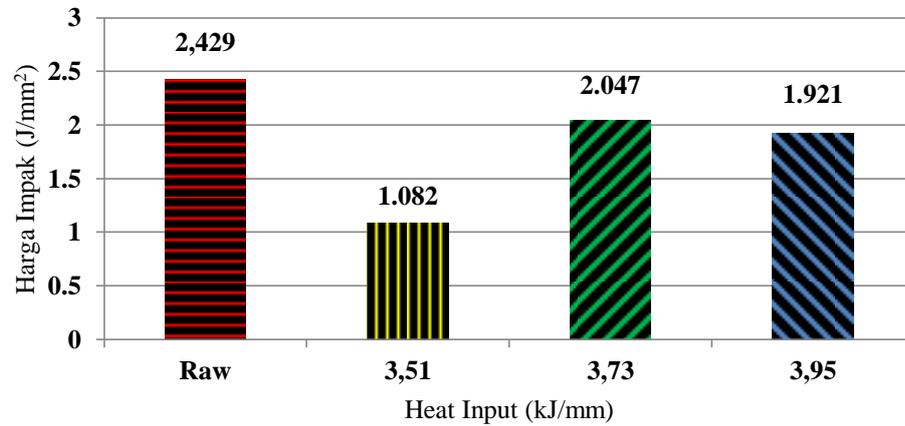
Dari hasil pengujian kekerasan di atas titik kekerasan tertinggi terdapat dapat daerah HAZ dengan nilai kekerasan sebesar 165,4 kg/mm<sup>2</sup> dan titik terlemah pada daerah *raw material* sebesar 154,5 kg/mm<sup>2</sup>.

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terletak pada daerah *weld metal* spesimen heat input 3,51 kJ/mm yaitu sebesar 168,3 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada heat input 3,73 kJ/mm dan heat input 3,95 kJ/mm memiliki nilai kekerasan yang sama sebesar 154,5 kg/mm<sup>2</sup> dan heat input terendah terdapat pada daerah *raw material* sebesar 154,5 kg/mm<sup>2</sup>. Semakin tinggi heat input yang digunakan maka kekerasan material akan turun pada daerah *weld metal* seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas. Hal ini terjadi karena pada daerah *weld metal* semakin tinggi heat input yang digunakan maka panas yang dihasilkan juga semakin tinggi sehingga membentuk butiran struktur mikronya terlihat lebih besar yang berarti memiliki sifat lunak.

### 3.3 Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan metode *Charpy*. Standar spesimen mengacu ASTM E23. Panjang lengan ayun 0,674 meter dengan bobot bandul 23,87 kg. Untuk pengujian spesimen *raw material stainless steel 304* serta pengujian spesimen dengan heat input masing-

masing sebesar 3,51 kJ/mm; 3,73 kJ/mm; 3,95 kJ/mm. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dengan sudut mula-mula bandul ( $\alpha = 150^\circ$ ). Setelah dilakukannya pengujian impact, maka diperoleh data hasil pengujian sebagai berikut :

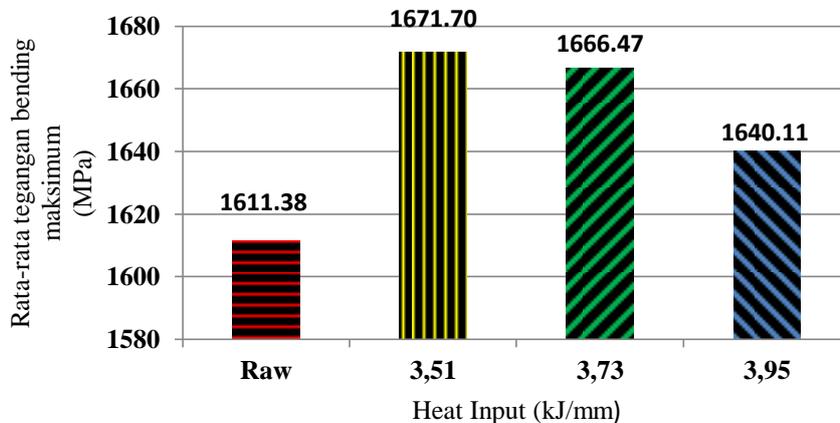


Gambar 21. Grafik Pengujian Impact

Dari gambar 21 grafik pengujian impact menunjukkan bahwa untuk hasil pengujian impact terbaik pada *raw material* dengan harga impact yang diperoleh sebesar 2,429 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk harga impact terbaik pada spesimen yang dilakukan pengelasan, yaitu pada variasi *heat input* 3,73 kJ/mm dengan harga impact yang diperoleh sebesar 2,047 J/mm<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian impact yang dilakukan dengan metode *charpy* dapat dianalisis mengenai patahan yang terjadi antara spesimen uji *raw material* yang dibandingkan dengan variasi heat input yang dipilih. Spesimen uji yang diberi pembebanan secara kejut pada daerah takikan *weld metal* menyebabkan patah, namun yang dapat dianalisis patahan tersebut tergolong patah ulet, kecuali pada spesimen dengan variasi *heat input* 3,51 kJ/mm.

### 3.4 Hasil Pengujian Bending

Pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *three point bending*. Setelah dilakukan pengujian *bending*, maka diperoleh data hasil pengujian sebagai berikut :



Gambar 22. Grafik Pengujian Impact

Dari gambar 22 grafik pengujian impak diatas menunjukkan bahwa kualitas sambungan las yang tampak pada hasil pengujian *bending*. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan tegangan *bending* maksimum pada berbagai variasi *heat input* yang digunakan. Untuk nilai rata-rata tegangan *bending* maksimum yang tertinggi yaitu pada *heat input* 3,51 kJ/mm yaitu sebesar 1671,70 MPa. Sedangkan untuk nilai rata-rata tegangan *bending* terendah yaitu pada *raw material* sebesar 1611,38 MPa.

Pada spesimen *raw material* tidak ditemukannya keretakan maupun patahan dipermukaan hasil pengujian. Sedangkan pada spesimen uji yang telah dilakukan pengelasan pada seluruh variasi *heat input* juga tidak ditemukannya keretakan maupun patahan karena memang bahan tambah yang digunakan saat pengelasan dipilih bahan yang sedikit lebih baik kualitasnya dibanding *raw material*.

#### 4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa *type* material uji mengandung kadar chromium (Cr) 18,9574%, nikel (Ni) 8,6449%, dan carbon (C) 0,0668%, yang menunjukkan bahwa material termasuk klasifikasi baja tahan karat austenit grade 304.
2. Spesimen hasil pengelasan dengan *heat input* 3,73 kJ/mm, *heat input* 3,95 kJ/mm didominasi struktur austenit, kecuali *heat input* 3,51 kJ/mm didominasi struktur carbida chrom.
3. Pada pengujian kekerasan vickers, nilai kekerasan tertinggi pada spesimen dengan *heat input* 3,51 kJ/mm yaitu sebesar 168,3 kg/mm<sup>2</sup>, karena struktur mikro didominasi carbida chrom.
4. Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa ketangguhan bahan menerima beban kejut terbaik pada spesimen *raw material* yaitu sebesar 2,429 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk spesimen yang telah dilakukan pengelasan nilai ketangguhan terbaik pada variasi *heat input* 3,73 kJ/mm yaitu sebesar 2,047 J/mm<sup>2</sup>.
5. Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa tegangan *bending* maksimum yang diterima bahan uji terbaik pada variasi *heat input* 3,51 kJ/mm yaitu sebesar 1671 MPa.

#### 5. SARAN

Adapun saran dari penelitian ini guna penyempurnaan pada penelitian yang akan datang yaitu sebagai berikut :

1. Diharapkan untuk penelitian berikutnya menindaklanjuti *heat input* dengan variasi arus yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah layer dan kemiringan sudut kampuh pengelasan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi *filler rod* pengelasan yang berbeda.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada laboratorium pengujian komposisi PT.Itokoh Ceperindo Klaten, laboratorium pengujian bahan IST “Akprind” Yogyakarta, laboratorium pengujian bahan D3-UGM Yogyakarta, yang telah memberi dukungan, saran, kritik terhadap penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

ASTM International, 2010, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, Pennsylvania, USA.

Revaldo, 2017. *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Las TIG Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Stainless Steel AISI 304*. Jurusan Teknik Mesin: Universitas Negeri Semarang.

Syafa'at, I., Purwanto, H., Ilhamudin, M., Ratnani, R, D., 2018, *Analisis Kekuatan Sambungan Las Argon Pada Stainless Steel 304 Menggunakan Variasi Kuat Arus*, Semarang: Universitas Wahid Hasyim.

Wirjosumarto H., Okumura T., 2008, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.