

Studi Pengaruh *Heat Input* terhadap Ketangguhan Impak dan Kekuatan Lengkung (*Bending*) Las Tig pada Baja Karbon Rendah

M. Irvan Haryanto^{*1}, Wartono¹, Dandung Rudy Hartana¹.

⁽¹⁾Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

⁽¹⁾Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

e-mail: [1irvanharyanto38@gmail.com](mailto:irvanharyanto38@gmail.com), [2wartono@itny.ac.id](mailto:wartono@itny.ac.id), [3dandung@itny.ac.id](mailto:dandung@itny.ac.id)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh *heat input* pada ketangguhan impak dan kekuatan lengkung (*bending*) las TIG pada baja karbon rendah. Bahan yang digunakan berupa baja karbon rendah ukuran 300 mm x 100 mm x 5 mm. Diberi perlakuan pengelasan TIG variasi *heat input* 250 J/mm, 300 J/mm, dan 350 J/mm dengan gas pelindung argon, logam pengisi ER70S-6, dan tungsten EWTh-2. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi pada raw material dan weld metal, uji struktur mikro, pengujian *impact charpy*, dan pengujian *bending* metode *three-point bending*. Hasil penelitian uji komposisi diperoleh kadar karbon pada raw material 0,1581% menunjukkan bahwa material termasuk baja karbon rendah. Hasil pengujian struktur mikro weld metal terdiri dari *acicular ferrite*, *Grain boundary ferrite*, dan *Windmasntatten ferrite*. Hasil uji impak didapatkan nilai ketangguhan impak tertinggi pada specimen dengan *heat input* 250 J/mm dengan nilai 1,125 J/mm². Hasil pengujian *bending* menunjukkan nilai *bending* tertinggi terdapat pada specimen dengan *heat input* 300 J/mm dengan nilai tegangan *bending* sebesar 414,6167 MPa.

Kata Kunci : Las TIG, *heat input*, ketangguhan impak, *bending*.

Abstract

This study aimed to investigate the effect of *heat input* on the impact toughness and bending strength welding TIG on low carbon steel. The material used is low carbon steel with 300 mm x 100 mm x 5 mm. Treated with welding TIG variations of *heat input* 250 J/mm, 300 J/mm, and 350 J/mm with gas argon shielded, filler metal ER70S-6, and tungsten EWTh-2. This experiment is testing the composition of the raw material and weld metal, microstructure test, testing Charpy impact, and testing bending method the *three-point bending*. The composition test results showed that the carbon content of the raw material was 0.1581%, indicating that a material used is low carbon steels. Microstructure testing results of weld metal consisted of *acicular ferrite*, *Grain boundary ferrite*, and *Windmasntatten ferrite*. The impact test results showed the highest impact toughness value in the specimen *heat input* 250 J/mm with a value of 1,125 J/mm². The results of the test bending show that the highest value is bending in the specimen *heat input* 300 J/mm with a stress value bending of 414,6167 MPa.

Keywords: TIG welding, *heat input*, impact toughness, *bending*.

1. PENDAHULUAN

Di zaman sekarang, teknologi semakin berkembang di berbagai bidang terutama di bidang konstruksi. Pada dasarnya, pengelasan tidak dapat dipisahkan dari bidang konstruksi karena mempunyai peranan penting dalam reparasi dan rekayasa logam. Pembangunan konstruksi dengan menggunakan logam tidak akan jauh dari penyambungan atau pengelasan logam. Pembuatan sambungan dengan cara pengelasan secara teknis memerlukan keterampilan dan pengetahuan yang tinggi bagi juru las agar memperoleh hasil las yang baik.

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang begitu pesat menuntun sumber daya manusia untuk semakin berkembang. Berbagai cara usaha yang dilakukan banyak orang untuk mengembangkan teknik pengelasan dengan efisiensi-efisiensi yang lebih baik. Adapun penggunaan teknik pengelasan pada industri yang bergerak dibidang konstruksi, seperti pada otomotif, perkapalan, pesawat terbang, kereta api, konstruksi jembatan, perpipaan, bejana tekan dan sebagainya. Arti Pengelasan itu sendiri adalah suatu proses penyambungan dua logam atau lebih dengan cara memanaskan diatas batas cair atau dibawah batas cair logam disertai penetrasi maupun tanpa penetrasi, serta diberi logam pengisi atau tanpa logam pengisi sehingga terbentuk menjadi suatu sambungan (Howard,1989).

Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang maksimal diperlukan pengetahuan tentang material dan pengetahuan tentang proses pengelasan. Salah satu teknik pengelasan yang dikenal dalam pengelasan logam adalah proses pengelasan *tungsten inert gas (TIG)*. Las *tungsten inert gas (TIG)* adalah metode pengelasan dimana busur listrik terjadi diantara elektroda yang tidak leleh dengan benda kerja. sekeliling elektrodanya disalurkan gas lindung yang berfungsi sebagai pelindung terhadap kontaminasi udara dimana gas tersebut tidak breaksi dengan zat apapun, sehingga tiap pencemaran dapat dihindarkan (Jaemi, dkk, 2017). Gas pelindung yang umum digunakan yaitu gas argon atau helium yang memiliki fungsi untuk mencegah oksigen atau nitrogen masuk kedalam cairan las yang dapat menyebabkan porositas atau cacat pada las. Penggunaan las *TIG* mempunyai 2 keuntungan, yaitu pertama kecepatan pengumpan logam dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi kedalam logam induk dapat diatur semaunya. Cara pengaturan ini memungkinkan las *TIG* dapat digunakan dengan memuaskan baik untuk plat tipis maupun pelat baja tebal. Kedua adalah kualitas yang lebih baik dari daerah las (Wiriyosumarto, 1981).

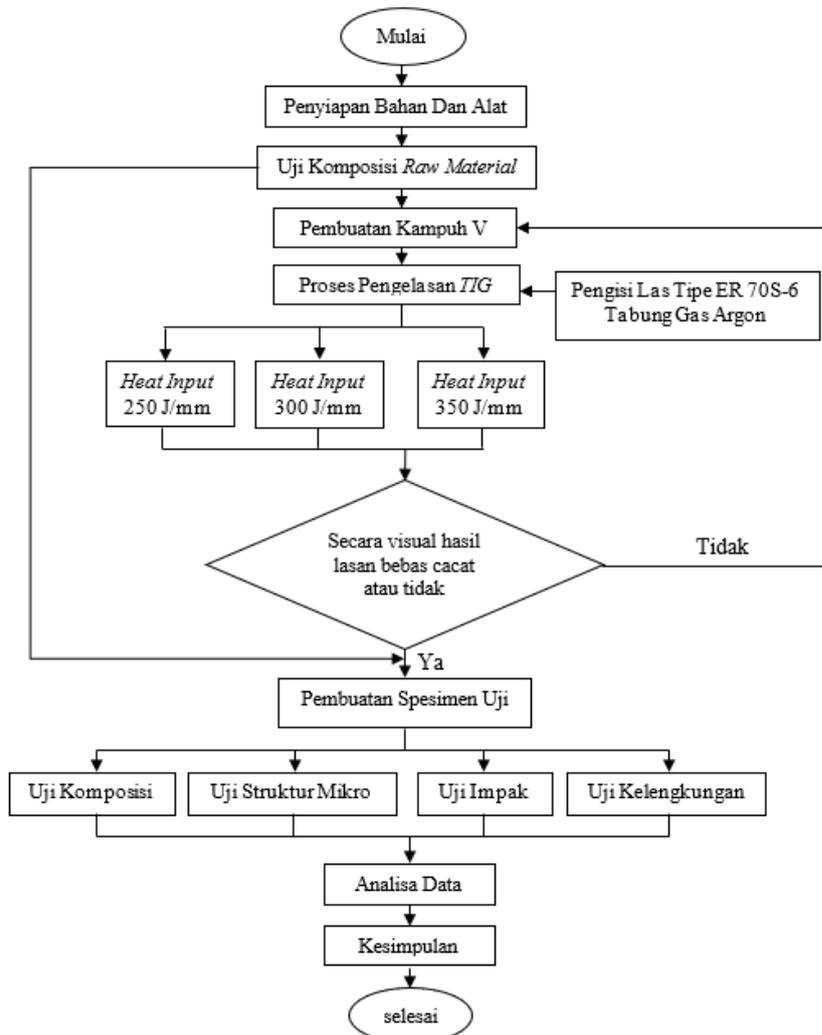
Dalam melakukan sambungan pengelasan ada beberapa faktor yang sangat mempengaruhi baik atau tidaknya hasil suatu las. Salah satunya adalah *heat input*. Pengaturan *heat input* dapat dilakukan dengan mengatur arus, *voltase* atau mengatur kecepatan pengelasan. pengaturan yang tidak sesuai akan menyebabkan berbagai pengaruh pada pengelasan. Kolam pengelasan yang terlalu panas pada gilirannya mempengaruhi komposisi kimia dan struktur lasan dan *HAZ*, serta keandalan dan kualitas lasan. Oleh karena itu, control dan pemilihan faktor-faktor optimal, yang mempengaruhi transfer tetes logam ke kolam pengelasan, meningkatkan efisiensi pengelasan, dan meningkatkan kualitas pengelasan (Bakustis, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *heat input* pengelasan *TIG (tungsten inert gas)* terhadap ketangguhan, kekuatan lengkung (*bending*), struktur mikro dan struktur makro pada baja karbon rendah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan proses pengelasan las *TIG (tungsten inert gas)* atau *GTAW (gas tungsten arc welding)* dengan variasi *heat input* 250 J/mm, 300 J/mm, dan 350 J/mm. Bahan yang digunakan berupa baja karbon rendah dengan ukuran 300 mm x 100 mm x 5 mm. spesimen yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 30 spesimen, 2 spesimen untuk uji komposisi (*weld metal, raw material*), 12 spesimen untuk uji impak setiap variasi, 12 spesimen untuk uji kelengkungan (*bending*) dan 4 spesimen untuk uji struktur mikro. Metode yang digunakan untuk uji impak menggunakan metode *Charpy* sedangkan untuk uji *bending* menggunakan metode *three-point bending*. Standar ukuran spesimen uji impak ASTM E-23 dan uji *bending* ASTM D-790. Foto mikro yang diambil dari *raw material, weld metal, batas weld*

metal-HAZ, HAZ, batas HAZ-base metal.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHSAN

3.1. Hasil Uji Komposisi

Uji komposisi kimia ini dilakukan untuk mengetahui persentasi unsur-unsur yang terkandung didalam plat baja karbon yang dijadikan sebagai benda uji. Hasil dari pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada **tabel 1**.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia raw material dan weld metal

No	Unsur	AVG (%)	
		Raw material	Weld metal
1	Fe	98,9744	98,4279
2	Si	0,1540	0,3892
3	Al	0,0117	0,0199
4	Cu	0,0661	0,0674
5	Mn	0,2281	0,6101

6	Mg	0,0001	0,0001
7	Cr	0.3311	0,2363
8	C	0,1581	0,1814
9	Zn	0,0028	0,0020
10	S	0,0138	0,0171
11	Ti	0,0026	0,0039
12	Pb	0,0001	0,0048
13	P	0,0204	0,0102
14	Ca	0,0004	0,0149
15	Sb	0,0001	0,0001
16	V	0,0040	0,0046
17	Ni	0,0198	0,0144

Sumber : PT ITOKO CEPERINDO KLATEN

Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa pada pelat baja karbon rendah yang digunakan sebagai bahan uji pengelasan mengandung unsur-unsur utama besi (Fe) 98,9744 % dan unsur-unsur paduan lainnya seperti mangan (Mn) 0,2281%, karbon (C) 0,1581 %, dan silikon (Si) 0,1540 %. Hal ini menunjukkan bahwasannya pelat baja karbon yang digunakan untuk bahan uji pengelasan mempunyai sifat mampu las yang baik. Unsur mangan yang terdapat dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan serta dapat meningkatkan ketahanan akan terjadinya korosi. Kadar silikon yang terkandung dalam baja dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan kekuatan. Dengan demikian, persentase unsur-unsur yang terkandung dalam pelat baja yang digunakan untuk uji pengelasan bisa diklarifikasikan sebagai baja karbon rendah (*low carbon steel*). Hasil uji komposisi pada *weld metal* tidak jauh beda dengan *raw material*, komposisi yang menonjol pada *weld metal* adalah unsur utama besi Fe = 98,4279 %, dan unsur paduan lainnya seperti : Si = 0,3892 %, Mn = 0,6101 % dan C = 0,1814 %. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengelasan pada pelat baja karbon rendah termasuk cukup baik.

3.2. Hasil Perhitungan Heat Input

$$Q_{(w)} = \frac{\eta Q}{v} = \frac{\eta EI}{v} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

- Q_(w) : masukan panas (J/mm)
- Q : tenaga *input* (Watt) = (J/s)
- v : kecepatan pengelasan (mm/s)
- E : tegangan (volt)
- I : arus listrik (*Ampere*)
- η : efisiensi perpindahan panas

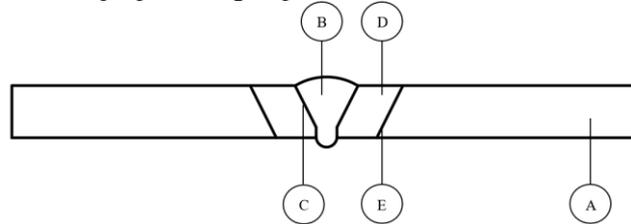
Dari rumus diatas maka didapatkan hasil *heat input* sebagai berikut :

Tabel 2. Data Proses Pengelasan

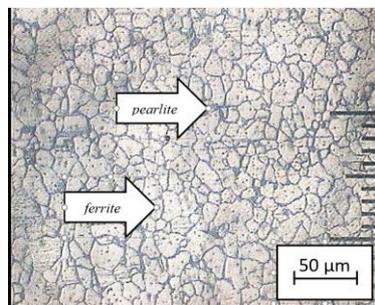
Sample	Parameter Las			Heat Input (J/mm)
	Arus (A)	Voltase (V)	Kecepatan (cm/mnt)	
las 1	50	20	12	250
las 2	60	20	12	300
las 3	70	20	12	350

3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

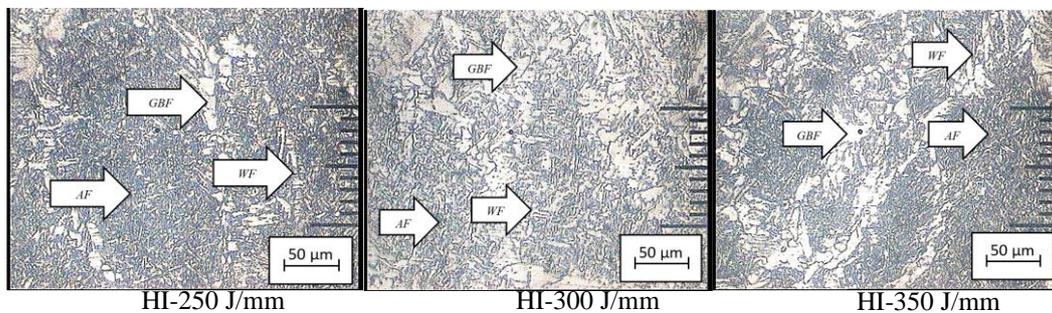
Pengamatan struktur mikro dilakukan pada 5 daerah, yaitu pada daerah *weld metal*, batas *weld metal-HAZ* (*heat affected zone*), *HAZ* (*heat affected zone*), batas *HAZ* (*heat affected zone*)-logam induk, logam induk (*base metal*). Hasil pengujian struktur mikro dapat dianalisis melalui foto atau gambar dari benda uji yang sudah dipotret dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran (*zoom in*) 100x.



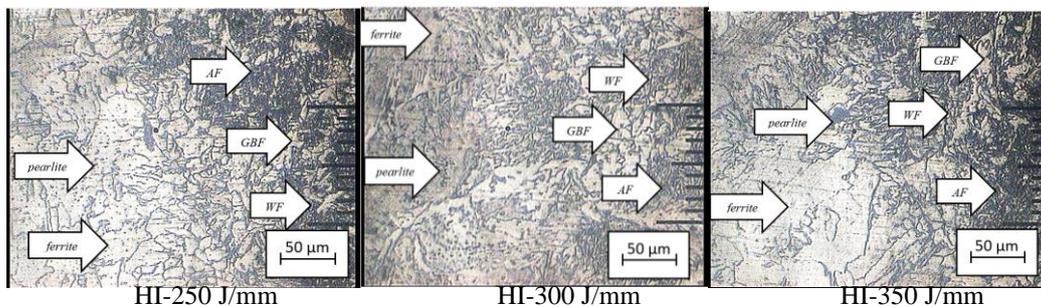
Gambar 2. (A) *base metal* (B) *weld metal*, (C) batas *weld metal-HAZ*, (D) *HAZ*, (E) batas *HAZ-base metal*.



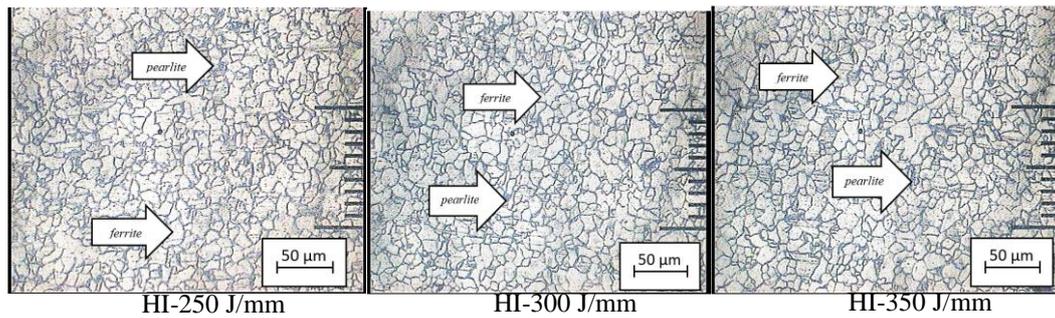
Gambar 3. Foto mikro *raw material*



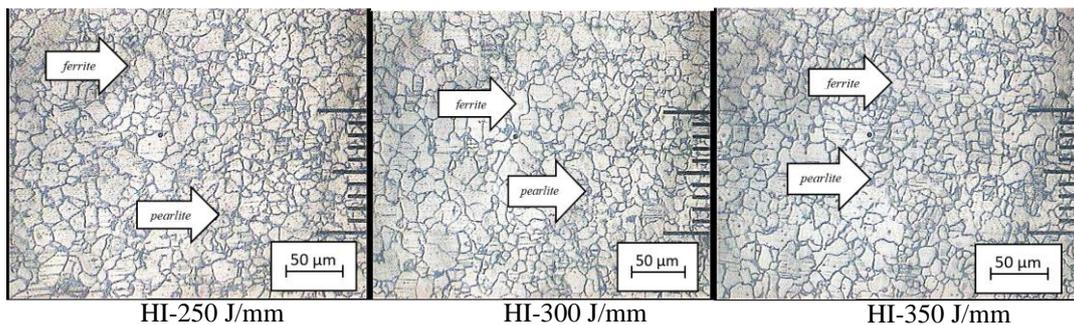
Gambar 4. foto mikro *weld metal*



Gambar 5. foto mikro Batas *Weld Metal-HAZ*



Gambar 6. foto mikro HAZ



Gambar 7. foto mikro Batas HAZ-Base Metal

Pengujian struktur mikro pada *base metal* (baja karbon rendah) mempunyai struktur mikro berupa struktur *ferrite* dan *pearlite*, dapat dilihat pada **gambar 3**. *ferrite* terlihat berwarna putih sedangkan *pearlite* diperlihatkan berwarna hitam. Adanya dua unsur ini disebabkan oleh unsur-unsur yang terkandung pada baja karbon rendah. Hasil dari pengujian struktur mikro pada *base metal* didominasi oleh butir *ferrite* dan sedikit dari butir *pearlite*. Menandakan bahwa *base metal* (baja karbon rendah) memiliki sifat ulet dan kuat. Pengamatan struktur mikro pada *weld metal* pada **gambar 4**. terlihat susunan struktur mikronya terdiri dari *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *acicular ferrite*. *Widmanstatten ferrite* pada daerah *weld metal* berbentuk seperti berbentuk plat-plat sejajar. Sedangkan bentuk dari *acicular ferrite* berbentuk seperti plat-plat kecil yang saling menyilang seolah berbentuk seperti anyaman. Bentuk seperti ini yang biasa disebut dengan *interlocking structure* (dapat memperlambat laju perambatan retak). Untuk menaikkan tegangan tarik dan ketangguhan las *acicular ferrite* sangat dibutuhkan pada *weld metal*. Karena *acicular ferrite* memiliki ketangguhan yang tinggi dibandingkan dengan struktur yang lain. Analisa struktur mikro pada *weld metal* proses pengelasan dengan menggunakan *heat input* 250 J/mm struktur mikro terlihat *acicular ferrite* terlihat lebih banyak dari pada perlakuan *heat input* 300 J/mm dan 350 J/mm. Sehingga nilai ketangguhan impact lebih tinggi dari pada hasil las yang lain. Hasil pengamatan struktur mikro batas *weld metal*-HAZ (*heat affected zone*) pada **gambar 5**. terlihat jelas perbedaan antara *weld metal* dan HAZ. Perbedaan yang sangat jelas terletak pada komposisi struktur mikronya. Pada daerah *weld metal* terlihat susunan struktur mikronya terdiri dari AF= *Acicular Ferrite*, WF= *Widmanstatten Ferrite*, dan GBF= *Grain Boundary Ferrite*, sedangkan pada daerah HAZ (*heat affected zone*) terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*.

Pada **gambar 6**. pengujian struktur mikro daerah HAZ (*heat affected zone*) terlihat struktur mikro berbeda dari *weld metal*. Ukuran butiran *ferrite* dan *perlite* semakin banyak. Perubahan struktur mikro pada daerah HAZ (*heat affected zone*) terjadi karena dipengaruhi oleh suhu panas pada proses pengelasan. Pada daerah HAZ (*heat affected zone*) yang mengalami pemanasan tetapi tidak sampai mencair atau meleleh ini akan melarutkan endapan partikel ke dalam benda kerja (baja karbon rendah) dengan kelarutan berbeda untuk setiap titiknya. Hal ini menyebabkan pengurangan jumlah endapan partikel sebelum dan sesudah proses pengelasan. Akibat dari pengaruh panas ini menyebabkan perubahan butir pada daerah tersebut. **Gambar 7**.

pengujian struktur mikro batas *HAZ* (*heat affected zone*) dan *base metal* terlihat perbedaan pada ukuran butir. Ukuran butir *ferrite* pada *HAZ* (*heat affected zone*) lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pada *base metal*. Menandakan bahwa *HAZ* (*heat affected zone*) yang berbatasan dengan *base metal* adalah *HAZ* (*heat affected zone*) halus.

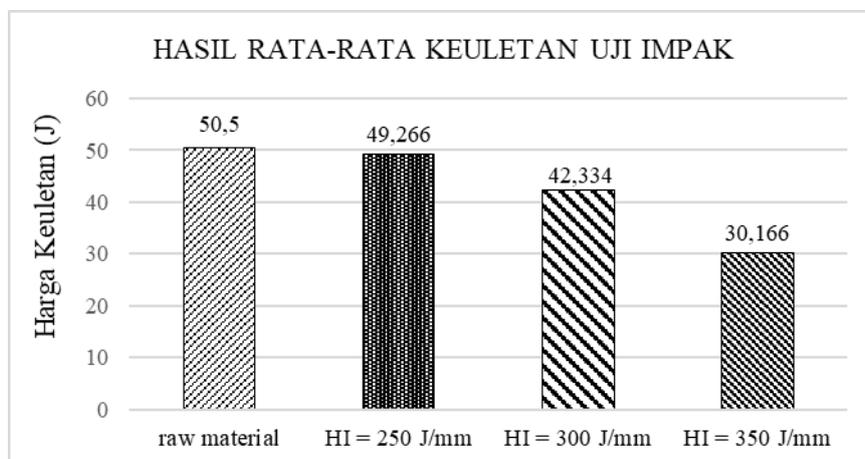
3.4 Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak menggunakan metode *Charpy*, dengan sudut awal jarum analog adalah 151° sesuai dengan sudut awal pendulum ketika berada diatas. Beban yang dipakai sebesar 20 Kg, takik spesimen dibuat pada bagian *weld metal* sedalam 2 mm dengan sudut 45°. Takik pada spesimen bertujuan membuat jalur sobekan.

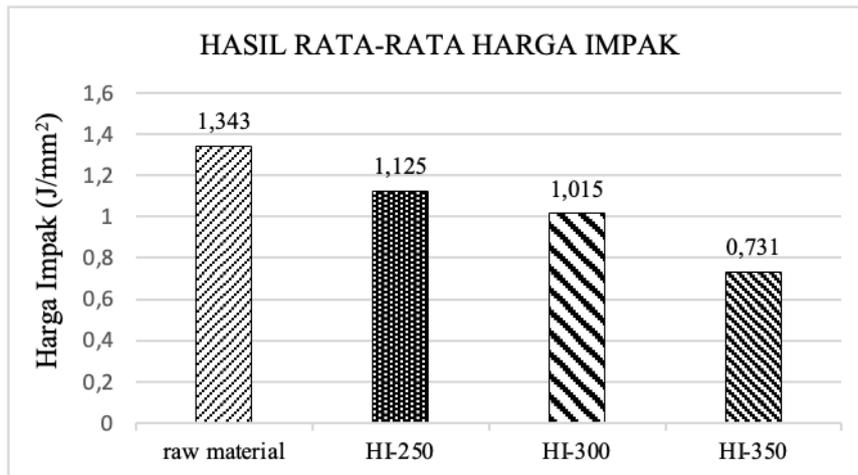
Table 3. Data Hasil Pengujian Uji Impak

no	Variasi perlakuan	Sudut α (°)	Energi (J)	Sudut β (°)	Energi terserap (J)	Rata - rata (J)	Luas (mm ²)	Harga impact (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
1	Raw	151	300	124,00	50,5	50,5	37,6	1,341	1,343
2	Raw	151	300	124,00	50,5		37,8	1,336	
3	Raw	151	300	124,00	50,5		37,3	1,352	
4	HI-250	151	300	139,00	19,2	49,266	45,2	0,424	1,125
5	HI-250	151	300	101,00	109,4		43,5	2,517	
6	HI-250	151	300	139,00	19,2		44,2	0,434	
7	HI-300	151	300	132,00	32,9	42,334	44,1	0,746	1,015
8	HI-300	151	300	124,00	50,5		40,3	1,254	
9	HI-300	151	300	127,00	43,6		41,8	1,045	
10	HI-350	151	300	134,00	28,8	30,166	40,5	0,712	0,731
11	HI-350	151	300	132,00	32,9		41,2	0,799	
12	HI-350	151	300	134,00	28,8		42,2	0,682	

Sumber : Pengujian Laboratorium UGM D-III



Gambar 8. Grafik Nilai Rata – Rata Harga Keuletan.



Gambar 9. Grafik Hasil Rata – Rata Harga Impak

Setelah dilakukan pengujian impact, ketangguhan impact pada *raw material* lebih tinggi dengan nilai ketangguhan impact sebesar 1,334 J/mm², dari hasil las *TIG (tungsten inert gas)* variasi *heat input* 250 J/mm dengan nilai ketangguhan impact sebesar 1,125 J/mm², *heat input* 300 J/mm dengan nilai ketangguhan impact sebesar 1,015 J/mm² dan *heat input* 350 J/mm dengan nilai ketangguhan impact sebesar 0,731 J/mm². Nilai ketangguhan impact yang terkecil ada pada variasi *heat input* 350 J/mm dengan nilai ketangguhan impact 0,731 J/mm². Menunjukkan bahwa semakin tinggi masukan panas (*heat input*) yang diberikan pada proses pengelasan *TIG (tungsten inert gas)* maka nilai ketangguhan impact dan kekuatan impactnya akan menurun.

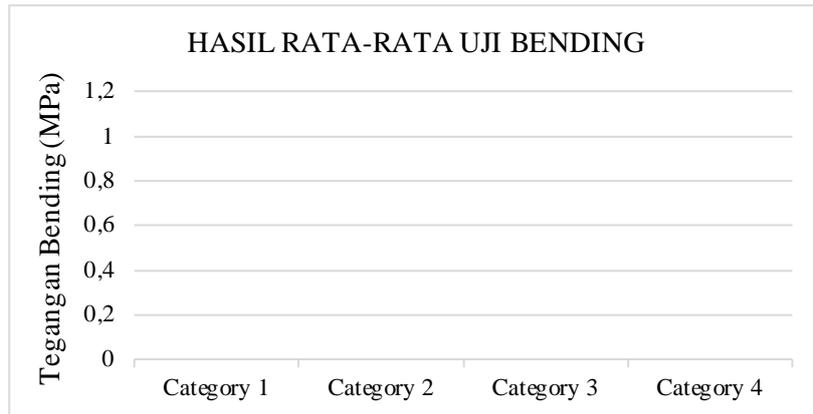
3.5. Hasil Pengujian Kelengkungan (*Bending*)

Pengujian ini dilakukan dengan mesin *Universal Testing Machine (UTM)* menggunakan metode *three point bending* pada permukaan las (*face bending*), dimana spesimen uji ditekan dengan beban pada satu titik tepat pada bagian tengah spesimen benda uji. Hasil kekuatan kelengkungan maksimum dan besarnya regangan maksimum akan secara otomatis terhitung pada aplikasi pada mesin *Universal Testing Machine (UTM)*. Hasil pada uji kelengkungan (*bending*) dapat dilihat dibawah ini :

Tabel 4. Hasil pengujian kelengkungan (*bending*)

No	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	Raw	4,78	25,38	6,68	25,43	604,77	637,3467
2	Raw	4,78	25,20	7,14	26,36	651,03	
3	Raw	4,78	25,28	7,22	26,30	656,24	
4	HI-250	5,42	25,04	5,04	16,98	359,71	324,19
5	HI-250	5,04	25,04	4,31	16,22	355,75	
6	HI-250	5,04	25,08	3,12	7,24	257,11	
7	HI-300	5,18	24,98	4,09	7,30	320,35	414,6167
8	HI-300	5,10	25,00	6,32	26,50	510,27	
9	HI-300	5,42	25,30	5,85	18,22	413,23	
10	HI-350	5,20	25,02	5,44	27,50	422,15	363,3867
11	HI-350	4,90	35,30	2,83	7,21	244,59	
12	HI-350	5,16	25,10	5,39	26,70	423,42	

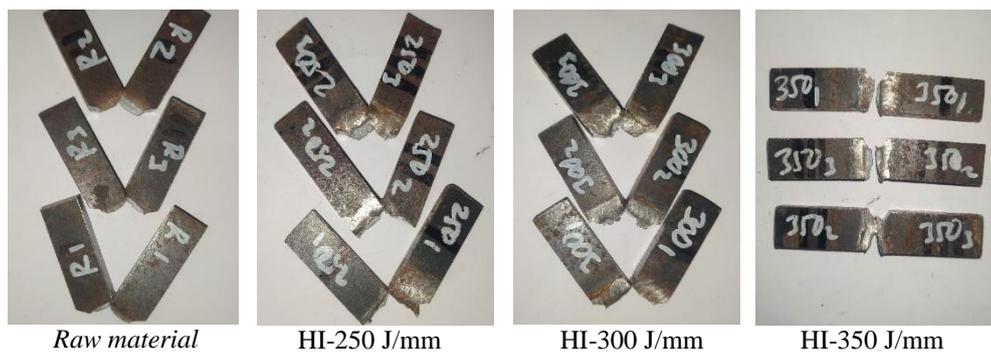
Sumber : Pengujian Laboratorium UGM D-III



Gambar 10. Grafik Hasil Rata-Rata Tegangan Bending.

Setelah dilakukan uji kelengkungan (*bending*), spesimen uji pengelasan TIG (*tungsten inert gas*) dengan variasi *heat input*, di uji kelengkungan (*bending*) dengan metode *three point bending*. Mendapatkan hasil bahwa spesimen pengelasan dengan variasi *heat input* mengalami penurunan kekuatan kelengkungan (*bending*) dari *raw material*. Ini terjadi karena pada daerah HAZ kasar mengalami keretakan, pada struktur mikro daerah HAZ kasar terdapat butiran struktur *ferrite* dengan ukuran yang besar dan sangat sedikitnya *pearlite* membuatnya menjadi getas. Keretakan juga bisa terjadi karena adanya cacat las yang terdapat pada daerah lasan spesimen. Keretakan dapat dilihat pada foto makro, terjadinya retak pada spesimen dibagian HAZ kasar. Spesimen *raw material* memiliki kekuatan *bending* terbesar yaitu sekitar 637,3467 MPa. Sedangkan pada variasi *heat input* yang memiliki kekuatan kelengkungan terbesar pada variasi *heat input* 300 J/mm yaitu sekitar 414,6167 MPa dibandingkan *heat input* 250 J/mm dengan kekuatan lengkung terendah yaitu sebesar 324,119 MPa dan *heat input* 350 J/mm dengan kekuatan lengkung sebesar 363,3867 MPa.

3.6. Hasil Pengujian Foto Makro Uji Impak



Gambar 11. Foto Makro Uji Impak

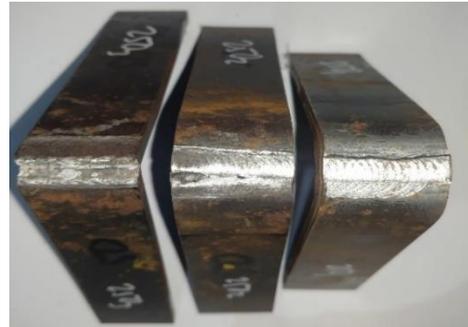
Dilihat dari uji foto makro pada *raw material* tidak terjadinya putus pada spesimen uji impact, sedangkan pada perlakuan las TIG (*tungsten inert gas*) dengan variasi *heat input* 250 J/mm dan 300 J/mm salah satu spesimen putus. Berbeda dengan perlakuan las TIG (*tungsten inert gas*) variasi *heat input* 350 J/mm yang memiliki kekuatan impact terkecil semua spesimen mengalami putus. Spesimen yang putus pada uji impact bisa saja terjadi dikarenakan adanya cacat las yang terdapat didalam lasan spesimen tersebut. Namun dilihat dari patahan masing masing spesimen adalah patahan ulet dikarenakan bentuk pada sobekan mengalami deformasi terlebih dahulu menandakan sebagai patah ulet. Permukaan patahan tidak berbentuk rata yang

menandakan patahan getas. Jadi, dapat disimpulkan hasil foto makro uji impak dilihat dari bentuk patahannya, spesimen *raw material*, *heat input* 250 J/mm, dan *heat input* 300 J/mm semua spesimen tidak mengalami patah seperti pada spesimen *heat input* 350 J/mm menandakan *raw material*, *heat input* 250 J/mm, dan *heat input* 300 J/mm mengalami patah ulet sedangkan pada *heat input* 350 J/mm mengalami patah getas.

3.7. Hasil Pengujian Foto Makro kelengkungan (*bending*)



Gambar 12. Foto Makro *Bending Raw Material*



Gambar 13. Foto Makro *Bending HI-250 J/mm*



Gambar 14. Foto Makro *Bending HI-300 J/mm*



Gambar 15. Foto Makro *Bending HI-350 J/mm*

Hasil foto makro dapat terlihat pada permukaan hasil las *TIG* (*tungsten inert gas*) dengan variasi *heat input* 250 J/mm ada 2 spesimen mengalami *crack* atau retak, sedangkan, *heat input* 300 J/mm, dan *heat input* 350 J/mm hanya salah satu spesimen mengalami keretakan pada daerah *HAZ*, kecuali pada spesimen *raw material* tidak ada keretakan sedikit pun pada masing-masing spesimen. *Crack* atau retak yang terjadi pada spesimen bisa terjadi dikarenakan ada cacat las yang terdapat pada spesimen uji *bending*. Sehingga hasil las dengan perlakuan *heat input* memiliki kekuatan *bending* lebih kecil dibandingkan dengan *raw material*. Ini membuktikan bahwa hasil las *TIG* *heat input* dengan variasi *heat input* 250 J/mm, *heat input* 300 J/mm, dan *heat input* 350 J/mm menjadi kurang ulet dibandingkan dengan *raw material*.

4. KESIMPULAN

1. Hasil uji komposisi pada *raw material* menunjukkan bahwa *raw material* mengandung unsur utama besi (Fe) sebesar 98,9744 %, dan unsur paduan lainnya seperti silikon (Si) sebesar 0,1540 %, mangan (Mn) sebesar 0,2281 %, dan karbon (C) sebesar 0,1581 %. Berdasarkan hasil uji komposisi menandakan bahwa bahan yang digunakan untuk pengujian termasuk kedalam klasifikasi baja karbon rendah. Bisa dibuktikan dari kadar karbonnya (C) yang kurang dari 0,3 % yaitu sebesar 0,1581 %. Sedangkan pada daerah *weld metal* hasil uji

komposisinya menunjukkan kadar besi (Fe) sebesar 98,4279 %, silikon (Si) sebesar 98,4279 %, mangan (Mn) sebesar 0,6101 % dan karbon (C) sebesar 0,1814% dapat disimpulkan bahwa *filler rod* yang digunakan sesuai dengan *raw material* (baja karbon rendah) dikarenakan kadar karbon pada *weld metal* masih termasuk baja karbon rendah.

2. Dari pengujian struktur mikro didapatkan kesimpulan bahwa pada *weld metal* terdiri dari *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grain boundary ferrite*. Berbeda sekali dengan struktur mikro pada daerah *HAZ* (*heat affected zone*) dan *raw material* yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. Namun, ada perbedaan antara *HAZ* dan *raw material* yaitu pada ukuran butir struktur mikronya, yang dimana struktur mikro pada daerah *HAZ* lebih halus dibandingkan dengan *raw material*. Perbedaan struktur mikro pada setiap daerah seperti *weld metal*, *HAZ* kasar-*HAZ* halus, dan *base metal* dapat mempengaruhi kekuatan mekanik. *Acicular ferrite* pada *weld metal* mempunyai sifat ketangguhan yang lebih tinggi dari struktur yang lain karena bentuk dari *acicular ferrite* berbentuk anyaman atau *interlocking structure* yang dapat memperlambat laju retak. Dan dapat menaikkan tegangan tarik dan ketangguhan pada *weld metal* tersebut.
3. Dari hasil pengujian impact menunjukkan bahwa nilai impact tertinggi ada pada spesimen *heat input 250 J/mm* dengan nilai ketangguhan impact sebesar 1,125 J/mm². Sedangkan nilai impact terendah pada spesimen pengelasan dengan *heat input 350 J/mm²* dengan nilai ketangguhan impact sebesar 0,731 J/mm².
4. Dari hasil pengujian *bending*, spesimen yang dilakukan proses pengelasan *TIG* dengan variasi *heat input 250 J/mm*, *heat input 300 J/mm*, dan *350 J/mm* mengalami penurunan kekuatan *bending*nya dibandingkan *raw material*. Dapat dilihat dari hasil pengujian *bending* yang memiliki kekuatan *bending* tertinggi, yaitu spesimen *raw material* dengan nilai kekuatan lengkung (*bending*) sebesar 637,3467 MPa. Setelah dilakukan pengelasan, hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa nilai *bending* tertinggi ada pada spesimen *heat input 300 J/mm* dengan nilai kekuatan lengkung (*bending*) sebesar 414,6167 MPa, sedangkan nilai *bending* terendah ada pada spesimen dengan *heat input 250 J/mm* dengan nilai kekuatan lengkung (*bending*) sebesar 324,19 Mpa.

5. SARAN

1. Sebelum dilakukan pengelasan diharapkan diberikan titik pada setiap ujung benda kerja agar dapat mengurangi distorsi saat dilakukan pengelasan pada benda kerja.
2. Sebelum dilakukan pengujian impact atau *bending* pada hasil las diharapkan dilakukan pengujian kecacatan las, karena cacat pada las dapat mempengaruhi hasil pada pengujian.
3. Untuk mendapatkan detail yang lebih baik dari struktur mikro bisa menggunakan lensa pembesaran yang lebih besar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bakustis, S. 2013. *Weld Control Possibilities In Arc Welding*. *Journal of Vibroengineering*, Vol. 15. ISSN 1392-8716.
- Howard, B. (1989). *Modern Welding Technology, second edition*, Prentice Hall International, Inc. Engewood, New Jersey.
- Jaemi Martins, Kolo, Nyoman Pasek Nugraha dan Gede Widayana. 2017. *Pengaruh Variasi Arus Terhadap Kekuatan Impact Dan Kekerasan Material ST 37 Menggunakan Proses Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*. *JJPTM*, Vol. 8, No : 2.
- Sonowan, Herry dan Rochim Suratman, Cetakan Pertama, 2004. *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*. Bandung : CV ALFABETA.

- Widharto, Sri. Cetakan Keenam, 2006. PETUNJUK KERJA LAS. Jakarta : PT PRADYA PARAMITA.
- Wirjosumarto, Harsono, dan Okumura 1981. Cetakan kedua. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT PRADYA PARAMITA.