

Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pengelasan SMAW Pada Baja Karbon S275J2

Rapiansyah Putra¹ Nurhasan²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Batam, Jl Abulyatma no. 05, Batam Centre, Batam, 29464

Abstrak

Dalam proses pengelasan akan timbul tegangan sisa (*Residual Stress*) pada daerah lasan, dimana tegangan sisa ini akan mempengaruhi hasil pengelasan yang diinginkan untuk mengurangi atau menghilangkan tegangan sisa tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan proses perlakuan panas *PWHT* (*Post Weld Heat Treatment*). Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh *PWHT* terhadap perubahan sifat mekanis hasil pengelasan baja S275J2 dengan menggunakan teknik pengelasan SMAW setelah pengelasan dilakukan, kemudian dilakukan proses *PWHT* dengan temperatur 600°C selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro, uji impak *Charpy* (*toughness*) dan kekerasan (*hardness*). Hasil uji struktur mikro pengelasan tanpa *PWHT* dan dengan perlakuan *PWHT* adalah ferit dan perlit dan untuk ukuran butirnya sama yaitu *finer* akan tetapi struktur butir pada proses pengelasan dengan perlakuan *PWHT* hasilnya lebih seragam dan merata. Tenaga patah antara pengelasan tanpa *PWHT* dengan *PWHT* mengalami kenaikan hasil tenaga patah di daerah *base metal* sebesar 8.98 %, kemudian di daerah *HAZ* sebesar 26.13 % dan di daerah *weld metal* sebesar 52.78 %, dari hasil pengujian kekerasan pengelasan tanpa *PWHT* dengan *PWHT* mengalami penurunan hasil kekerasan di daerah *base metal* sebesar 10.74 %, kemudian di daerah *HAZ* sebesar 18.54 % dan di daerah *weld metal* sebesar 20 %, sesuai dengan tujuan dari proses *PWHT* yaitu meningkatkan ketangguhan dan menurunkan kekerasan.

Kata kunci : *PWHT*, struktur mikro, Charpy, Vickers

Abstract

In welding process, *Residual Stress* will occur in the welded area where this stress can affect the desired result. In order to decrease or remove this stress, *PWHT* (*Post Welding Heat Treatment*) process is carried out in this research to know how well this process can influence the mechanical property of S275J2 Steel that has been welded by using SMAW process. The temperature that is used in *PWHT* process is 600°C for 1 hour heating. Then Micro Structure test, Charpy Impact test and Hardness test is carried out in order to know the Toughness and Hardness of the steel. Micro Structure test result show that the phase of the steel without *PWHT* and with *PWHT* are Ferrite and Pearlite, respectively. The size of the grain for both of the steel is Finer but the grain structure of the steel with *PWHT* process is more uniform and smoother than the steel without *PWHT* process. The Toughness for steel with *PWHT* process compared to steel without *PWHT* process is increased by 8.98% on base metal, 26.13% on HAZ area and 52.78% on weld metal. The Hardness for steel with *PWHT* process compared to steel without *PWHT* process is decreased by 10.74% on base metal, 18.54% on HAZ area and 20% on weld metal. According to these results, it has been proved that *PWHT* process can increase toughness and decrease hardness, and is appropriate with the purpose of *PWHT* process according to the theory.

Keywords: *PWHT*, microstructure, Charpy, Vickers.

1. Pendahuluan

Peran teknologi pengelasan dalam mendukung berbagai sector industry terutama fabrikasi dirasakan semakin meningkat di masa-masa yang akan datang. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya permintaan terhadap berbagai jenis konstruksi dengan persyaratan kualitas yang tinggi.

Prosedur pengelasan tampaknya sederhana, tetapi di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi, dimana pemecahannya memerlukan berbagai macam keperluan. Secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa dalam perancangan konstruksi pengelasan harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, alur pengelasan, cara pemeriksaan bahan las dan jenis las yang akan digunakan berdasarkan fungsi dan bagian-bagian konstruksi yang akan dilas. Semua itu harus dilakukan secara efektif dan butuh ketelitian.

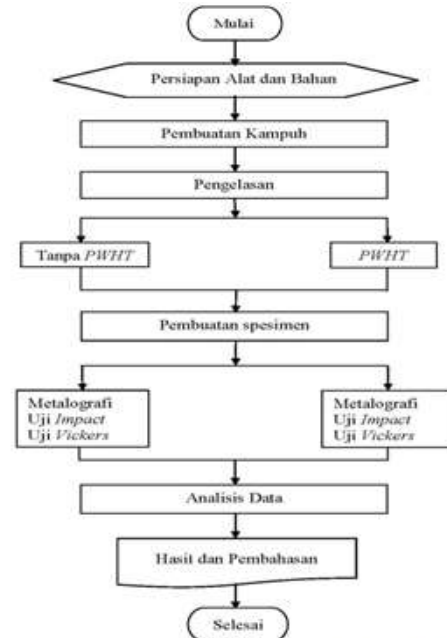
Retak pada material sangat erat korelasinya dengan kekerasan material, makin keras material kemungkinan terjadinya retak juga makin besar, dan hal tersebut tidak diinginkan dalam proses pengelasan. Oleh karena itu, perlu diketahui bagaimana cara agar kekerasan material dapat dikendalikan. Sehingga, kemungkinan terjadinya retak dapat dihindari.

PWHT(*post weld heat treatment*) merupakan proses perlakuan panas yang banyak dilakukan dalam pengelasan bidang konstruksi. Proses ini membutuhkan peralatan dan biaya operasional yang tidak sedikit. Namun apakah perubahan sifat material dalam arti peningkatan kualitas pengelasan yang terjadi sebanding dengan biaya yang dikeluarkan untuk *PWHT* tersebut. Selain itu juga sifat apa saja pada material yang berubah setelah dilakukan *PWHT*, apakah struktur mikro material juga mengalami perubahan. Mengingat bahwa sifat-sifat mekanis material juga umumnya terkait erat dengan struktur mikronya. Untuk mendapatkan jawabannya maka perlu dilakukan penelitian terkait *PWHT* ini. Oleh karena itu penelitian mengenai *PWHT* ini merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan.

Dikarenakan latar belakang di atas maka penulis mengambil judul: "Pengaruh *Post weld*

heat treatment terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pengelasan *SMAW* pada baja karbon S275J2.

2. Metode Penelitian



gambar 1 Flowchart Penelitian

Analisa yang akan dilakukan dari penelitian ini antara lain :

1. Pengaruh Proses *PWHT* setelah pengelasan terhadap struktur mikro didaerah las.
2. Pengaruh Proses *PWHT* setelah pengelasan terhadap ketangguhan *impact test* didaerah las.
3. Pengaruh Proses *PWHT* setelah pengelasan terhadap kekerasan didaerah las.

Prosedur Pelaksanaan penelitian

Langkah–langkah yang dilakukan adalah :

1. Proses Pelaksanaan Pemotongan dan Penyetelan
2. Proses Pelaksanaan Pengelasan
3. Proses Pelaksanaan *PWHT* (*post weld heat treatment*).

Proses Pembuatan Spesimen Uji Struktur mikro

Langkah–langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan adalah

1. Tentukan lokasi pemotongan untuk mempersiapkan spesimen mikro.
2. Potong benda uji sesuai jumlah dan ukuran spesimen kasar yang dibutuhkan

3. Ratakan spesimen dengan mesin milling untuk mendapatkan spesimen mikro yang rata dan parallel kemudian ampelas halus dilakukan dengan ampelas berpartikel SiC yang memiliki ukuran antara 100 – 1200 *mesh*.
4. Poles kasar, dilakukan dengan menggunakan partikel alumina atau intan dengan besar partikel sekitar 5 mikrometer. Proses ini digunakan untuk menghilangkan goresan yang masih tersisa dari proses amplas.
5. Poles halus, untuk menghilangkan goresan yang amat halus dengan menggunakan partikel alumina atau intan dengan besar partikel kurang dari 1 mikrometer.
6. *Etsa*, dilakukan pada sampel yang telah dikeringkan setelah poles halus dengan menggunakan zat kimia yaitu nital.



Spesimen Uji Struktur mikro

1. Proses Pembuatan Spesimen Uji Impak

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan adalah

1. Tentukan lokasi pemotongan untuk mempersiapkan spesimen-spesimen uji *impactcharpy* hasil pengelasan.
2. Potong benda uji sesuai jumlah dan ukuran spesimen kasar yang di butuhkan.
3. Beri tanda pengenalan pada setiap potongan spesimen untuk memberi ketertelusuran dari setiap spesimen yang sedang dikerjakan dan menunjukan orientasi *notch* pada spesimen.
4. Ratakan setiap sisi dari spesimen dengan mesin milling untuk mendapatkan spesimen *impact test* yang rata dan parallel dan memiliki ukuran ± 1 mm lebih besar dari ukuran yang dipersyaratkan oleh standar pengujian yang dipergunakan.
5. Grinda spesimen yang telah dimilling dengan menggunakan mesin grinding sampai mendapatkan ukuran dan toleransi

yang sesuai dengan standar pengujian yang di pergunakan.

6. Material uji di-*Etching* (*dietsa*) pada bagian pengelasan agar dapat menentukan lokasi dari *notch* dengan menggunakan larutan *etching*
7. Potong spesimen sehingga memiliki panjang yang sesuai dengan standar pengujian yang dipergunakan menggunakan *Bandsaw*.
8. Buat *notch* pada spesimen sepanjang garis yang telah digambarkan dengan menggunakan mesin *notch charpy*.



Gambar 3. Spesimen Uji Impak

2. Proses Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan adalah

1. Potong benda uji sesuai jumlah dan ukuran spesimen kasar yang dibutuhkan.
2. Beri tanda pengenalan pada setiap potongan spesimen untuk memberi ketertelusuran dari setiap spesimen yang sedang dikerjakan.
3. Ratakan spesimen dengan mesin milling untuk mendapatkan specimen uji kekerasan yang rata dan parallel
4. Grinda spesimen yang telah dimilling dengan menggunakan mesin grinding sampai mendapatkan permukaan yang parallel dan rata
5. Gosok spesimen dengan ampelas menggunakan ukuran dari 200 *mesh*, 400 *mesh*, 600 *mesh* untuk mendapatkan permukaan seperti cermin.
6. Benda yang telah di gosok kemudian dimasukkan ke dalam cairan *etsa* dan kemudian dibilas dengan alkohol dan air sehingga kita dapat melihat daerah logam hasil dari pengelasan tersebut.



Gambar 4. Spesimen Uji Kekerasan

3. Proses Pengujian struktur mikro

Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan uji struktur mikro.
2. Meletakkan spesimen di bawah lensa mikroskop
3. Mengatur pembesaran yang sesuai atau yang diinginkan
4. Menyalakan lampu dan mengatur fokusnya
5. Mengambil gambar di daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*
6. Menganalisa gambar struktur mikro.



Gambar 5. Spesimen Uji Struktur mikro setelah di *etsa*

4. Pengujian Impact Metode Charpy

Uji *Impact charpy* merupakan pengujian ketangguhan dinamis dimana spesimen bertakik dipukul sehingga menjadi patah dengan sebuah pukulan dengan mesin pengujian yang di desain khusus. Pengukuran hasil pengujian dapat berupa *energy* yang diserap oleh spesimen yang diberikan tumbukan secara tiba-tiba.

Langkah-langkah yang harus diikuti dalam uji *impact test* berdasarkan mesin yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan spesimen *impact test* dan cek semua dimensi spesimen uji.
2. Siapkan peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian (mesin uji *impact test*, centering tong, tempat perendaman dan pengukur temperatur).

3. Siapkan cairan campuran (*Methanol* dan CO_2) untuk mendapatkan temperatur pengujian yang diinginkan.
4. Letakkan spesimen, *centering* tong, dan *thermometer* ke dalam kotak pendingin.
5. Tuangkan *methanol* ke dalam kotak pendingin sampai ketinggian *methanol* sekurang-kurangnya 10 mm di atas spesimen.
6. Tambahkan karbon dioksida padat ke dalam *methanol* yang berada dalam kotak untuk mendapatkan temperatur yang sesuai dengan pengujian *charpy impact test*.
7. Rendam spesimen dalam temperatur yang diinginkan (jaga dalam toleransi $\pm 1^\circ C$) selama sekurangnya 10 menit (di *ASTM E23* waktu perendaman hanya 5 menit, namun pada rekomendasi mesin uji minimum perendaman adalah 10 menit sehingga perendaman mengikuti rekomendasi dari mesin uji).
8. Masukkan benda uji, letakkan pada anvil dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan palu *Charpy*.
9. Lalu tutup kaca pelapis mesin, hingga lampu hijau menyala.
10. Tekan tombol pada *handle* sehingga palu *Charpy* berayun membentur benda uji.
11. Memperhatikan di komputer nilai patah yang didapatkan.



Gambar 6. Proses perendaman sebelum pengujian

5. Pengujian Kekerasan Metode Vickers

Sebelum melakukan Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian kekerasan spesimen terlebih dahulu digosok dengan *autosol*, kemudian di *etsa*, setelah itu lakukan langkah pengujian sebagai berikut :

1. Memasang indenter piramida intan, kencangkan secukupnya agar penekan intan tidak jatuh.
2. Memberi garis warna pada daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* yang akan diuji.
3. Meletakkan benda uji di atas landasan.

4. Menentukan beban utama sebesar 10 kgf.
5. Menentukan titik yang akan diuji.
6. Menekan tombol indenter.
7. Melihat nilai kekerasan pada layar monitor.



Gambar 7. Spesimen Uji kekerasan setelah di etsa

Hasil dan pembahasan Hasil pengujian struktur mikro



Struktur Mikro 100x daerah BasMetal Tanpa PWHT



.Struktur Mikro 500x daerah Base Metal Tanpa PWHT



Struktur Mikro 100x daerah HAZ Tanpa PWHT



Struktur Mikro 500x daerah HAZ Tanpa PWHT



Struktur Mikro 100x daerah Weld Metal Tanpa PWHT



Struktur Mikro 500x daerah Weld Metal Tanpa PWHT



Sruktur Mikro 100x daerah Base Metal PWHT



Struktur Mikro 500x daerah Base Metal PWH



Struktur Mikro 100x daerah HAZ PWHT



**Struktur Mikro 500x daerah HAZ
PWHT**



**Struktur Mikro 100x daerah Weld Metal
PWHT**



**Struktur Mikro 500x daerah Weld metal
PWHT**

Dari ke-12 gambar di atas dapat dilihat bahwa fasa yang terbentuk setelah material mengalami proses pengelasan adalah fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Fasa ferit lebih terang dibandingkan dengan fasa perlit yang lebih gelap dikarenakan fasa ferit lebih lunak dibandingkan dengan fasa perlit.

Dan ukuran butir yang didapat pada pengelasan tanpa PWHT didapatkan *finer*, dan untuk ukuran butir pada pengelasan dengan proses PWHT sama dengan struktur mikro tanpa PWHT yaitu *finer*, dikarenakan ukuran butir lebih kecil atau halus dibandingkan skala 8 yang telah dikomparasi menggunakan *plate IV Austenite grains in steel (MC Quaid-Ehn) includes grain size number 1-8 at 100x*, akan tetapi struktur butir pada pengelasan dengan proses PWHT hasilnya lebih seragam dan merata.

Gambar 11. menunjukkan bentuk butiran struktur mikro pada daerah HAZ tanpa PWHT. Terlihat berbeda karena adanya pengaruh panas dari proses pengelasan. Panas yang terjadi di daerah HAZ akan merubah butiran struktur tetapi tidak sampai mencair.

Gambar 13. menunjukkan struktur mikro pada daerah *weld metal* tanpa perlakuan PWHT. Daerah ini mengalami pencairan, maka mikrostrukturnya akan berubah total. Mikrostruktur pada *weld metal* akan berbeda dengan HAZ dan *base metal*nya, tetapi mempunyai kekuatan yang lebih tinggi atau sama dengan *base metal*nya. Dengan mempunyai kekuatan yang tinggi, dapat diindikasikan bahwa pada *weld metal* pasti akan mempunyai nilai kekerasan yang tinggi pula.

Berbeda dengan objek yang diikuti PWHT pada Gambar 15, 17 dan 19 menunjukkan bentuk butiran dan struktur mikro pada bagian *base metal* daerah HAZ dan *weld metal* dengan perlakuan PWHT, yang terlihat memiliki butiran yang lebih seragam dan merata menuju *weld metal*. Hal tersebut adalah efek dari dilakukannya proses PWHT, yaitu akan memperbaiki butiran struktur terutama pada daerah HAZ. Dengan butiran struktur yang tidak terlalu berbeda, maka sifat ketangguhannya akan meningkat, diiringi dengan nilai kekerasan yang tidak terlalu tinggi.

1. Hasil Uji Impact Metode Charpy

Penelitian untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan pengaruh *impact* metode *charpy* antara bahan yang mengalami pemasukan panas pada proses pengelasan tanpa PWHT dan PWHT di daerah *base metal*, daerah HAZ dan daerah *weld metal*. Hasil pengujian ketangguhan *impact* metode *charpy* adalah tenaga yang diserap (E) dalam satuan *joule*.



**Gambar 20. Spesimen hasil uji
Impact metode charpy**

Hasil Pengujian Impact Metode Charpy

Proses Perlakuan	Daerah	Specimen Size (mm)	Test Temp. (°C)	Impact Value Specimen (J)			Average (J)
				1	2	3	
Tanpa PWHT	WCL	10x10x55	-20	75	69	72	72
	HAZ	10x10x55	-20	112	116	106	111
	BM	10x10x55	-20	252	254	261	256
PWHT	WCL	10x10x55	-20	109	108	112	110
	HAZ	10x10x55	-20	146	137	137	140
	BM	10x10x55	-20	277	275	286	279

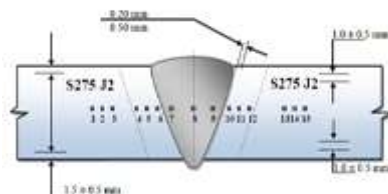
Berdasarkan tabel 1 di atas maka selanjutnya dimasukkan dalam diagram seperti di bawah ini :



Gambar 21. Diagram Hasil Perbandingan Impact Metode Charpy

Gambar 21 menunjukkan perbandingan nilai tenaga patah antara pengelasan tanpa PWHT dan pengelasan dengan PWHT, dari hasil pengujian patah takik dapat dilihat bahwa di daerah pengelasan mengalami peningkatan hasil pengujian tanpa PWHT dan dengan PWHT sebesar 8.98 % di daerah *base metal*, kemudian di daerah HAZ sebesar 26.13 % dan di daerah *weld metal* mengalami kenaikan yang paling besar yaitu sebesar 52.78%.

2. Hasil Uji Kekerasan Metode Vickers



Gambar 22. Titik pengujian kekerasan

Gambar di atas menunjukkan bahwa titik pengujian kekerasan terdiri dari *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Dimana dalam pengujian ini penentuan titik kekerasan dilakukan ditengah-tengah spesimen.

Pengujian kekerasan menghasilkan data dan nilai kekerasan dari spesimen daerah *base metal*, daerah HAZ dan daerah *weld metal* tanpa PWHT dan PWHT.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan

Titik	Daerah	Spesimen	
		Tanpa PWHT	PWHT
		Line 1	Line 1
1	Base Metal	168	142
2		170	144
3		161	139
13		165	156
14		160	154
15		164	156
Rata-rata		165	149
4	HAZ	179	149
5		191	153
6		172	152
10		173	151
11		179	147
12		182	154
Rata-rata		179	151
7	Weld Metal	208	173
8		201	169
9		202	168
Rata-rata		204	170



Gambar 23. Diagram hasil perbandingan uji kekerasan

Gambar 23 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan antara pengelasan tanpa PWHT dan pengelasan dengan PWHT, dari hasil pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa di daerah pengelasan mengalami penurunan kekerasan hasil pengujian tanpa PWHT dan dengan PWHT sebesar 10.74 % di daerah *base metal*, kemudian di daerah HAZ sebesar 18.54 % dan di daerah *weld metal* mengalami penurunan yang paling besar yaitu sebesar 20%.

3. Pembahasan

Dari analisis pengujian struktur mikro dilakukan pada semua objek pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan ukuran struktur mikro hasil pengelasan tanpa PWHT dan pengelasan dengan proses PWHT. Perbedaan struktur mikro akan menyebabkan sifat fisik material berbeda pula, data hasil penelitian maka didapatkan beberapa fakta, yaitu :

1. Pada pengujian struktur mikro dapat dilihat bahwa fasa yang terbentuk setelah material mengalami proses pengelasan adalah fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Fasa ferit lebih terang dibandingkan dengan fasa perlit yang lebih gelap dikarenakan fasa ferit lebih lunak dibandingkan dengan fasa perlit. Dan ukuran butir yang didapat pada pengelasan

tanpa PWHT didapatkan *finer*, dan untuk ukuran butir pada pengelasan dengan proses PWHT hasilnya sama dengan struktur mikro tanpa PWHT yaitu *finer*, dikarenakan ukuran butir lebih kecil atau halus dibandingkan skala 8 yang telah dikomparasi menggunakan *plate IV Austenite grains in steel (MC Quaid-Ehn) includes grain size number 1-8 at 100x*, akan tetapi struktur butir pada pengelasan dengan proses PWHT hasilnya lebih seragam dan merata.

2. Pada pengujian tenaga patah spesimen diketahui bahwa dari nilai rata-rata tenaga patah yang di hasilkan pengelasan tanpa PWHT dan dengan perlakuan PWHT mengalami kenaikan hasil tenaga patah di semua daerah pengelasan dengan perlakuan PWHT, kenaikan di daerah *base metal* sebesar 8.98 %, kemudian di daerah HAZ mengalami kenaikan sebesar 26.13 %, dan kenaikan tenaga patah yang tertinggi berada di daerah *weld metal* sebesar 52.78 %.
3. Pada pengujian kekerasan spesimen diketahui bahwa kekerasan rata-ratanya 208 VHN dan benda uji dengan las tanpa PWHT terlihat bahwa daerah *weld metal* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari pada daerah HAZ, dan *base metalnya*. Hal ini terjadi karena daerah *weld metal* mengalami siklus termal yang paling besar pada saat pengelasan.
4. Pada tabel-tabel data hasil pengujian kekerasan untuk material dilas dengan PWHT, terlihat bahwa kekerasan di daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* menjadi lebih rendah dibandingkan dengan di las tanpa perlakuan PWHT. Hal ini disebabkan struktur butiran yang di hasilkan lebih merata dan mengurangi tegangan sisa yang terjadi selama proses pengelasan. Struktur ferit dan perlit yang lebih merata hal ini sesuai dengan hasil pengamatan struktur mikro.
5. Pada Gambar 4.25 perbandingan hasil pengujian kekerasan benda uji terlihat bahwa secara keseluruhan pada benda uji dilas dengan perlakuan PWHT kekerasan pada *weld metal*, daerah HAZ, dengan *base metal* dan *base metal* lebih rendah dari kekerasan benda uji dengan dilas tanpa PWHT. Hal ini sesuai dengan tujuan dari proses PWHT yaitu menurunkan kekerasan dan meningkatkan ketangguhan.

4. Kesimpulan

1. Fasa yang terbentuk setelah material mengalami proses pengelasan tanpa perlakuan PWHT pengujian struktur mikro adalah fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Fasa ferit lebih terang dibandingkan dengan fasa perlit yang lebih gelap dikarenakan fasa ferit lebih lunak dibandingkan dengan fasa perlit. Dan ukuran butir pada pengelasan tanpa PWHT adalah *finer*, dan untuk ukuran butir pada pengelasan dengan proses PWHT hasilnya sama dengan struktur mikro tanpa PWHT yaitu *finer*, dikarenakan ukuran butir lebih kecil atau halus dibandingkan skala 8 yang telah dikomparasi menggunakan *plate IV Austenite grains in steel (MC Quaid-Ehn) includes grain size number 1-8 at 100x*.
2. Hasil untuk pengujian *impact* metode *charpy* mengalami kenaikan di pengelasan dengan perlakuan PWHT di semua daerah las, kenaikan di daerah *base metal* sebesar 8.98 %, kemudian di daerah HAZ mengalami kenaikan sebesar 26.13 %, dan kenaikan tenaga patah yang tertinggi berada di daerah *weld metal* sebesar 52.78 %.
3. Hasil untuk pengujian kekerasan metode *vicker* terbaik didapatkan pada proses pengelasan dengan perlakuan PWHT dengan nilai rata-rata 208 VHN, dimana setelah nilai kekerasan dibandingkan nilai rata-rata pengelasan dengan perlakuan PWHT lebih kecil dibandingkan nilai pengelasan tanpa perlakuan PWHT.

Daftar Pustaka

- Alip, Mochamad. 1989. *Teori dan Praktik Las*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX: 2015, *Qualification Standard For Welding, Brazing And Fusing Procedure*.
- ASTM A370-15, 2015. *Standard Test Methods And Definitions for Mechanical Testing of Steel Product*.
- ASTM E112-04, 2004. *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*.
- ASTM E23-12c, 2012. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*.
- ASTM E384-15, 2015. *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Materials*.

- ASTM E407-15, 2015. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*
- AWS D1.1/D1.1M: 2010. Structural Welding Code-Steel*
- Bintoro, A. G., 2005, *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*, Kanisius, Yogyakarta.
- BS EN 10025-2: 2004. Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.*
- BS EN 10027: 2005. Designation system for steel name.*
- Callister, William D, Jr. *Materials Science and Engineering*. 2007. USA
- Hery Sonawan & Rochim Suratman, 2006, *Pengelasan Logam*, ALFABETA, Bandung
- Head Quarters Departement Of The Army, Welding Theory and Applicationi*. 1993, DOTA: Washington DC, USA.
- Jamsuri, 2009, Studi Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Pada Baja *AISI 4130* Menggunakan Elektroda *ASME 10018* Diameter 3,2 mm, Tugas Akhir Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Malau, Viktor dan Adhika Widyaparaga. 2008. Pengaruh Perlakuan Panas Quench dan Temper Terhadap Laju Keausan, Ketangguhan Impak, Kekuatan Tarik dan kekerasan baja XW Hal: 186-192.
- Metals Handbook Edisi 8, 1972. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*
- Mizhar, Susri dan Suherman. 2011. Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari baja AISI 4140. *Jurnal Dinamis*. Vol II. No. 8. Hal: 21-26
- Purwaningrum, Yustiasih. 2006. Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Sambungan Las SMAW Baja A-287 Sebelum dan Sesudah PWHT. *Jurnal TEKNOIN*. Vol. 11, No. 3.
- Widharto, Sri, 2001. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, Harsono dan Okumura Toshie , 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradya Paramita, Jakarta