

PENGARUH TEMPERATUR *CRYOGENIC* TERHADAP KETANGGUHAN *IMPACT* SAMBUNGAN PENGELASAN *STAINLESS STEEL* AISI 304

Furkan¹, Akhyar Ibrahim², Azwar²

¹Mahasiswa Prodi D-IV Teknologi Rekayasa Manufaktur

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buket Rata

Email : furkanlsm97@gmail.com

Abstrak

Seiring dengan berkembangnya teknologi telah dihasilkan pada baja dengan berbagai jenis sesuai dengan fungsi dan tujuan pemakaian. Salah satunya adalah baja tahan karat austenitic AISI 304 umumnya digunakan untuk memproduksi tangki kargo gas alam cair (LNG) karena kinerjanya yang lebih tinggi di lingkungan yang sangat rendah dan tahan terhadap korosi. Tujuan penelitian ini adalah Mengetahui pengaruh temperatur cryogenic terhadap ketangguhan impact daerah HAZ, daerah weld metal, dan daerah Fusion Line Baja tahan karat AISI 304, melakukan analisa fraktografi pada permukaan patahan. Metode penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperature cryogenic terhadap ketangguhan impact sambungan pengelasan stainless stell AISI 304, dimulai dari mempersiapkan alat dan bahan, proses pengelasan, pengujian impact charpy dan analisa patahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil nilai rata-rata pengujian impact tertinggi terdapat pada temperatur ruangan di daerah HAZ yaitu 3,71 joule/mm² dan hasil nilai pengujian impact terendah terdapat pada temperatur cryogenic di daerah weld metal yaitu 0,69 joule/mm². Pengujian impact pada temperatur cryogenic didapatkan hasil nilai pengujian impact terendah dibandingkan dengan nilai hasil pengujian impact temperatur ruangan. Spesimen di daerah HAZ, fusion line, dan weld metal, pada temperatur cryogenic mengalami bentuk perpatahan getas. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa, berdasarkan hasil pengujian impact material stainless steel aisi 304 temperatur cryogenic dan temperatur ruangan, terlihat jelas bahwa kekuatan beban kejut material stainless steel AISI 304 pada pengujian temperatur cryogenic menurun di daerah HAZ, fusion line, dan weld metal dibandingkan dengan kekuatan beban kejut material stainless steel AISI 304 pada temperatur ruangan.

Kata Kunci : *Stainless Steel AISI 304, Temperature Cryogenic, Pengelasan SMAW, Impact Charpy, Analisa Patahan.*

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya. Sambungan las adalah sambungan antara dua logam dengan cara pemanasan atau logam pengisi. Sambungan terjadi pada kondisi logam dalam keadaan leleh atau cair. Sambungan las banyak digunakan pada konstruksi baja.

Seiring dengan berkembangnya teknologi telah dihasilkan pada baja dengan berbagai jenis sesuai dengan fungsi dan tujuan pemakaian. Salah satunya adalah baja tahan karat *austenitic* AISI 304 umumnya digunakan untuk memproduksi tangki kargo gas alam cair (LNG) karena kinerjanya yang lebih tinggi di lingkungan yang sangat rendah dan tahan terhadap korosi. Selain itu, bahan ini menunjukan karakteristik khusus yang disebut

pengerasan sekunder tranformasi martensit, menyebabkan perilaku pengerasan selama kelelahan siklus rendah. Perlu di catat bahwa tranformasi martensit tergantung pada jumlah amplitude deformasi plastis. Secara khusus, suhu kriogenik yang diperlukan untuk mencairkan gas alam mempengaruhi sifat mekanik serta kekuatan sambungan las dalam tangki kargo LNG [1]

1.2 *Cryogenic*

Cryogenic merupakan suatu ilmu yang membahas tentang produksi dan efek suhu rendah. Sistem ini menggunakan material dengan suhu rendah yang sangat ekstrem. Menurut hukum termodinamika, terdapat batas untuk suhu terendah yang bisa dicapai, yang dikenal sebagai nol mutlak. Nol mutlak adalah nol dari skala temperatur absolut dengan suhu -273,15°C. Skala SI metrik absolut dikenal sebagai skala kelvin atau bisa dikatakan 0 °C sama dengan 273,15 K. Dalam

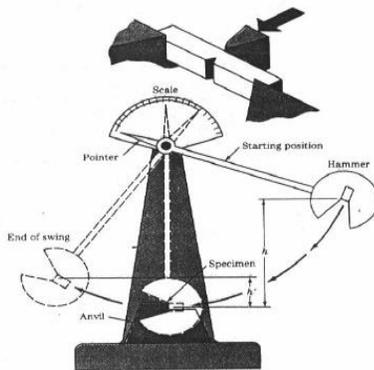
skala Kelvin rentang kriogenik berada dibawah 120 K (-153°C). Gas-gas seperti nitrogen, oksigen, helium dan sebagainya mengalami perubahan awal dari gas menjadi cair pada tekanan atmosfer dan dikenal sebagai cairan kriogenik atau kriogens [2].

1.3 Baja Tahan Karat (*stainless steel*)

Baja tahan karat (*stainless steel*) adalah salah satu logam ferro. Stainless steel didapat dengan menambahkan unsur Chromium (Cr) pada baja, minimum sejumlah 12%. Unsur Cr ini akan bereaksi dengan oksigen yang ada di udara (atmosfer) dan membentuk lapisan Cr-oksida yang sangat tipis. yang banyak digunakan dalam dunia teknik [3].

1.4 Uji Ketangguhan

Pengujian impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat dipakai untuk menganalisis karakteristik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan terhadap perubahan suhu. Alat uji impak merupakan salah satu alat uji yang sering digunakan dalam pengembangan bahan struktur material dalam mengukur kemampuan beban kejut. Mesin uji ketangguhan dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini [4].



Gambar 1 Mesin uji ketangguhan (*charpy*)

2 Metode Penelitian

Proses pengelasan menggunakan metode pengelasan SMAW dengan sambungan tumpul kampuh V tunggal, elektroda yang digunakan pada pengelasan SMAW adalah ASW E308-16 dengan diameter elektroda 2,6 mm dan arus pengelasan 65 Amper, sifat mekanis ditentukan dengan menganalisis data hasil pengujian Impact Metode (*charpy*), temperatur *cryogenic* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pada temperatur -156⁰, -160⁰ dan -170⁰, temperatur *cryogenic* diperoleh dari nitrogen cair (LN₂) dengan suhu

sebesar -194⁰C, nitrogen cair disimpan di dalam tabung khusus.

2.1 Alat Dan Bahan

Adapun alat yang digunakan selama melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut: *Positif material indentification* (PMI), mesin gerinda tangan, mesin frais vertikal, mesin las, mesin gergaji potong, mesin sekrup, digital *thermocouple type* (T), jangka sorong, kikir dan *stopwach*.

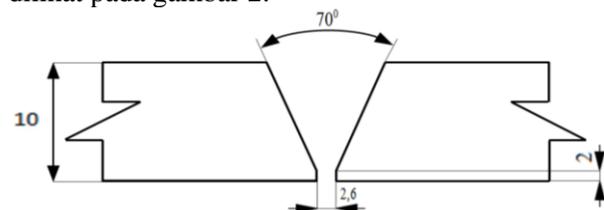
2.2 Spesimen Pengujian

Adapun dimensi benda uji yang di gunakan pada penelitian ini adalah : Material yang digunakan Baja tahan karat AISI 304, ketebalan pelat 10 mm, elektroda yang digunakan adalah jenis ASW E308-16 dengan diameter elektroda 2,6 mm, arus pengelasan yang digunakan adalah 65 A, kampuh yang digunakan jenis kampuh V tunggal, dengan jarak celah pelat 2,6 mm, tinggi akar 2 mm dan sudut kampuh 70⁰ dan bentuk spesimen benda uji mengacu standar ASTM E23.

2.3 Proses Pembuatan Dan Pembentukan Spesimen

2.3.1 Pembentukan spesimen uji

Adapun langkah dalam hal pembuatan spesimen benda uji baja tahan karat *stainless steel* AISI 304 terdapat beberapa tahap, yaitu: Persiapkan spesimen baja tahan karat *stainless steel* AISI 304, melakukan proses pemotongan spesimen uji dengan ukuran 200 x 90 x 10 mm, proses pemotongan spesimen uji menggunakan mesin gerinda tangan, setelah melakukan pemotongan spesimen uji dan tahap selanjutnya melakukan pembentukan sudut kampuh V terbuka dengan sudut sebesar 70⁰ dan jarak celah pelat 2,6 mm, tinggi akar 2 mm, dalam hal melakukan pembentukan sudut kampuh V menggunakan mesin frais. Pembentukan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Bentuk kampuh V tunggal

2.3.2 Proses pengelasan benda uji

Adapun tahap-tahap proses pengelasan benda uji terbagi kedalam beberapa tahap, yaitu :

Mempersiapkan mesin las SMAW sesuai dengan pemasangan polaritas DCEP, mempersiapkan benda kerja yang akan dilas pada meja las, posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar atau bawah tangan, kampuh yang digunakan dalam pengelasan ini adalah jenis kampuh V tunggal, dengan lebar celah 2,6 mm dan sudut kampuh 70° , mempersiapkan elektroda sesuai dengan arus pengelasan, dalam penelitian ini menggunakan elektroda jenis ASW E308-16 dengan diameter elektroda 2,6 mm, arus pengelasan 65 Amper dan menghidupkan mesin las dan mengatur voltase pada angka 85 Volt, selanjutnya mulai dilakukan pengelasan dengan arus 65 Amper.

2.3.3 Proses pembentukan benda uji *impact*

Proses pembentukan benda uji mengacu pada standar ASTM E23 (*American Society for Testing and Materials*) untuk pengujian ketangguhan bahan. Setelah proses pengelasan selesai maka dilanjutkan pembuatan spesimen sesuai standar ASTM E23, langkah - langkah pembuatan specimen sebagai berikut : Persiapkan mesin gergaji potong, mesin frais, gerinda duduk dan mesin sekrup, melakukan pemotongan spesimen uji dengan menggunakan mesin gergaji potong, ukuran spesimen 90 x 12 x 10 mm, melakukan perataan permukaan spesimen benda uji dengan menggunakan mesin frais, ukuran specimen 90 x 10 x 10 mm. Dan juga melakukan penggrinda permukaan las dengan ketebalan 10 mm, setelah proses pemotongan dan proses perataan permukaan spesimen benda uji, langkah selanjutnya melakukan proses polishing pada permukaan spesimen benda uji tersebut, tahap selanjutnya melakukan proses etsa menggunakan cairan aqua regia (air raja) untuk memperoleh tampilan daerah *weld metal*, *fusion line* dan HAZ dan tahap selanjutnya yang dilakukan yaitu melakukan proses pembuatan takik (*notch*). Dalam hal pembuatan takik ini dilakukan di 4 bagian, yaitu HAZ, fusion line dan *weld metal*. Mengacu pada hasil tampilan bagian sisi spesimen yang telah di etsa, jarak takik *weld metal*, *fusion line* dan HAZ adalah 3 mm. Spesimen uji yang telah di buat takik ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Hasil pembentukan spesimen

2.4 Pengujian Ketangguhan

Adapun prosedur dalam hal melakukan pengujian ketangguhan terbagi beberapa tahap, yaitu : Menyiapkan peralatan mesin *impact charpy*, menyiapkan spesimen benda uji yang akan dilakukan pengujian sesuai standar ukuran yang telah ditetapkan, melakukan perendaman tujuh spesimen benda uji ke dalam tabung nitrogen cair (LN_2), dengan waktu perendaman selama 25 menit, setelah benda uji mencapai waktu perendaman, benda uji di keluarkan dari tabung nitrogen cair, langkah selanjutnya meletakkan benda uji pada *anvil* dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan palu *charpy*, menaikkan palu *Charpy* pada kedudukan 45° (sudut α) dengan menggunakan *handle* pengatur kemudian dikunci, putar jarum penunjuk sampai berimpit pada kedudukan 300^0 joule, lepaskan kunci sehingga palu *Charpy* berayun membentur benda uji dan memperhatikan dengan mencatat sudut β dan nilai tenaga patah.

3 Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil *Positif Material Identification*

Hasil pengujian PMI (*positif material identification*) di PT. Pupuk Iskandar Muda, komposisi kimia material AISI 304 dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Komposisi kimia baja tahan karat AISI 304

| Unsur Kimia | Si | Cr | Mn | Fe | Ni |
|---------------------|------|-------|------|-------|------|
| Hasil pengujian PMI | 0.98 | 18.07 | 1.05 | 71.20 | 7.93 |

3.2 Hasil Pengelasan AISI 304

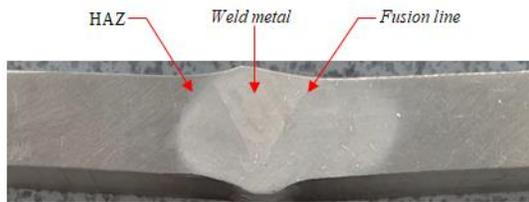
Bahan baja *stainless steel* AISI 304 dilakukan pengelasan SMAW menggunakan elektroda ASW E308-16 dengan polaritas DCEP (*direct current elektoda positive*). Arus pengelasan adalah 65 Ampere dengan voltase 85 Volt. Hasil pengelasan dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Hasil pengelasan SMAW bahan AISI 304 kampuh V sudut 70°

3.3 Daerah Sambungan Pengelasan AISI 304

Adapun daerah sambungan pengelasan baja tahan karat AISI 304. Pada daerah sambungan merupakan daerah yang paling rawan dalam proses sambungan las. Pada daerah sambungan terjadi proses pencairan dan pembekuan, sehingga akan terjadi perubahan sifat material secara fisis dan mekanis. Selain itu ada daerah HAZ yang mana pada daerah tersebut tidak terjadi pencairan namun terjadi pemanasan setempat. Akibat pemanasan yang tinggi juga akan merubah sifat dan stuktur material. Stuktur daerah sambungan pengelasan baja AISI 304 dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.

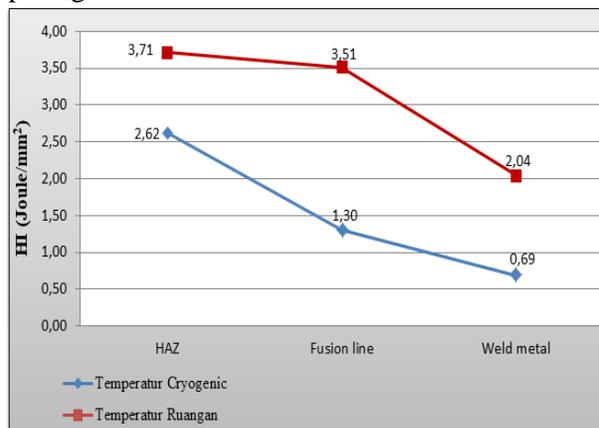


Gambar 5 Daerah sambungan pengelasan baja tahan karat AISI 304

Pada gambar di atas dapat terlihat dengan jelas perbedaan daerah lasan. Pada daerah lasan merupakan daerah HAZ. Pada daerah lasan terjadi proses pencairan bahan tambah. Bila dikaji lagi sebenarnya pada daerah lasan ada dua daerah yang penting yaitu daerah dimana pencairan bahan tambah yang mencair dan daerah dimana terjadi pencampuran logam dasar bahan tambah (*fusion line*).

3.4 Hasil Pengujian Ketangguhan AISI 304

Hasil pengujian ketangguhan AISI 304 dengan menggunakan metode charpy dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



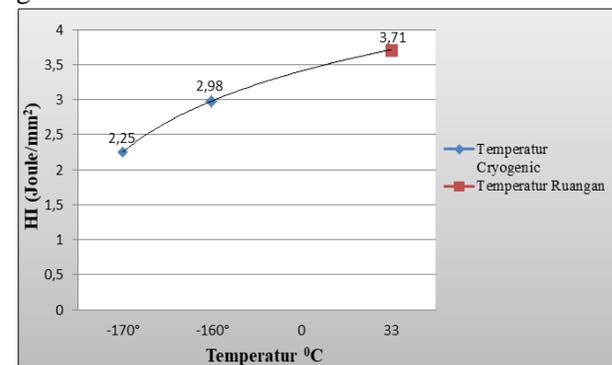
Gambar 6 Nilai ketangguhan impak sambungan pengelasan AISI 304

Gambar grafik 6 diatas menunjukkan hasil perbandingan nilai rata-rata pengujian *impact charpy* antara temperatur ruangan dengan temperatur *cryogenic*. Hasil dari nilai *impact charpy* yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada temperatur ruangan titik pengujian HAZ yaitu sebesar 3,71 Joule/mm², pada titik pengujian daerah fusion line memiliki nilai tertinggi terdapat pada temperatur ruangan yaitu sebesar 3,51 Joule/mm². pada titik pengujian daerah weld metal memiliki nilai tertinggi terdapat pada temperatur ruangan yaitu sebesar 2,04 Joule/mm².

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa pengaruh temperatur *cryogenic* sangat mempengaruhi nilai pengujian *impact charpy* pada material baja tahan karat *stainless AISI 304*. Dari hasil pengujian *impact charpy* dapat disimpulkan bahwa pengaruh temperatur *cryogenic* terhadap material *stainless AISI 304* memiliki nilai pengujian yang paling rendah. Adapun pengujian yang paling rendah terdapat di daerah *weld metal* dengan nilai rata-rata pada temperatur ruangan sebesar 2,04 dan turun drastis pada temperatur *cryogenic* dengan nilai rata-rata 0,69.

3.4.1 Ketangguhan sambungan pengelasan AISI 304 pada daerah (HAZ)

Temperatur *cryogenic* adalah temperatur sangat rendah dibawah -150 °C. Perilaku bahan pada temperatur *cryogenic*, bahan menjadi semakin getas dan kaku karena perubahan *microstructure* saat temperatur dibawah titik nol. Hasil pengujian impak *charpy* pada daerah HAZ ditunjukkan pada gambar 7 dibawah ini.

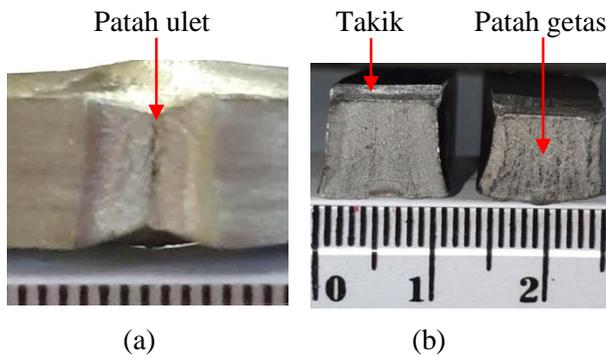


Gambar 7 Nilai ketangguhan impak pada daerah HAZ sambungan pengelasan AISI 304

Gambar grafik 7 diatas menunjukkan pengaruh temperatur terhadap nilai ketangguhan impak daerah HAZ dari sambungan las baja AISI 304. *Specimen* yang di uji impak pada temperatur kamar memiliki nilai ketangguhan impak 3.71

Joule /mm², angka tersebut menjadi turun drastis ketika *specimen* diuji pada temperatur -160 C menjadi 2,98 joule/mm² dan turun lagi menjadi 2,25 joule /mm² pada temperatur *cryogenic* -170 °C ini menunjukkan bahwa material menjadi sangat getas pada temperatur *cryogenic*, dimana kemampuannya dalam menyerap *energy* saat deformasi plastis menurun. Hal ini menyebabkan bahan menjadi sangat rentan terhadap pembebanan kejut yang dapat menyebabkan kerusakan fatal (*fracture*). Sebaliknya dengan *specimen* uji pada temperatur kamar yang mampu menyerap *energy* impact lebih besar, karena bahan masih bersifat ulet karena belum mengalami perlakuan dingin.

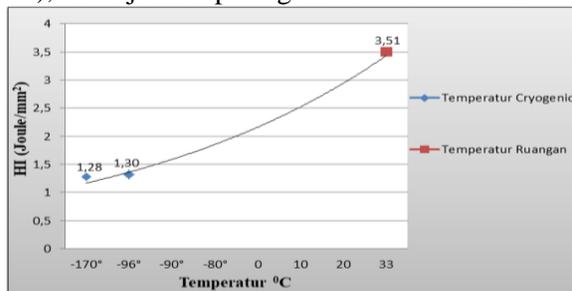
Permukaan patahan *specimen* uji pada lokasi HAZ dari sambungan pengelasan baja AISI 304 juga menunjukkan pola patahan ulet pada kondisi pengujian temperatur kamar dan patah getas pada kondisi pengujian temperatur *cryogenic*, seperti di tujukkan oleh gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8 (a). patah ulet (temperatur 33 °C)
(b). patah getas (temperatur -160 °C)

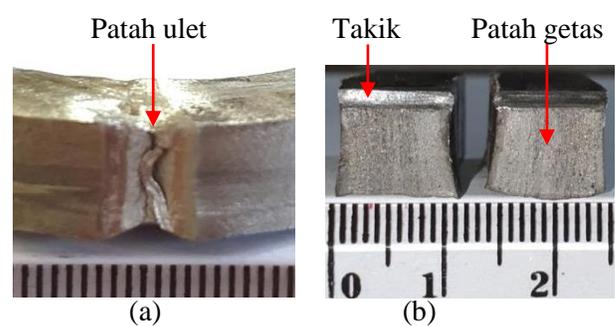
3.4.2 Ketangguhan sambungan pengelasan AISI 304 pada daerah *fusion line*

Hasil pengujian impact *charpy* pada temperatur kamar dan temperatur *cryogenic* untuk sambungan pengelasan AISI 304 pada daerah fusi/lebur antara logam pengisi/lasan dengan logam induk yang dikenal dengan daerah garis fusi (*fusion line*), di tunjukkan pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9 Perbandingan nilai *impact charpy* pada daerah *fusion line* sambungan pengelasan AISI 304

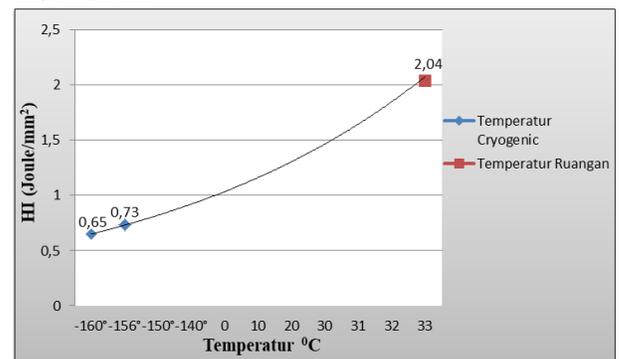
Gambar grafik 9 diatas menunjukkan bahwa pengujian pada temperatur kamar mengasilkan harga ketangguhan impact 3,51 Joule/mm² lebih rendah dari nilai ketangguhan impact pada daerah HAZ. Nilai tersebut menjadi menurun drastis ketika *specimen* di uji pada temperatur *cryogenic* -170°C menjadi 1,28 joule /mm², dimana nilainya juga lebih rendah dari nilai ketangguhan daerah HAZ pada kondisi *temperatur* pengujian yang identik. Sedangkan pada spesimen temperatur -96 terjadi cacat las sehingga tidak dijadikan acuan dalam pengujian ini, Penurunan nilai ketangguhan impact menunjukkan bahwa bahan menjadi semakin getas, karena bahan tidak mampu menyerap *energy* beban kejut dan beresiko terjadi perpatahan yang sangat berbahaya. Hal ini diperkuat dengan tampilan permukaan patahan *specimen* yang menunjukkan permukaan patah getas tanpa didahului oleh *deformasi plastic*, seperti ditunjukkan oleh gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10 (a). patah ulet (temperatur 33 C)
(b). patah getas (temperatur -170 C)

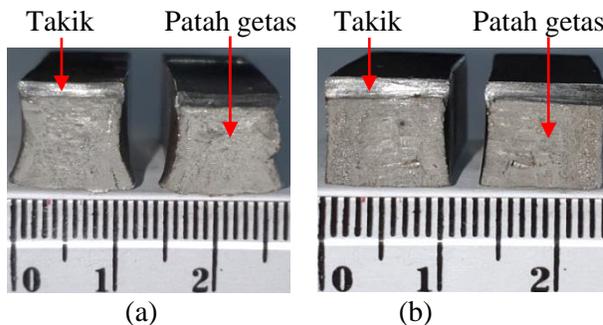
3.4.3 Ketangguhan sambungan pengelasan AISI 304 pada daerah *weld metal*

Hasil pengujian impact *charpy* pada temperatur kamar dan temperatur *cryogenic* pada daerah logam pengisi (*weld metal*) sambungan pengelasan AISI 304 di tunjukkan pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 10 Perbandingan nilai *impact charpy* pada daerah *weld metal* sambungan pengelasan AISI 304

Nilai ketangguhan impak daerah logam pengisi pada sambungan las AISI 304 memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan dengan HAZ dan *fusion line* yaitu 2,04 joule/mm² dengan pola patahan getas. Ketika di uji pada kondisi *cryogenic*, nilai ketangguhan impak semakin menurun hingga 0,73 joule/mm² pada temperatur -156 C dan semakin turun menjadi 0,65 joule/mm² pada temperatur -160. Ini mengisikasikan bahwa daerah logam pengisi (*weld metal*) bersifat getas dengan *energy* impak yang paling kecil baik pada temperatur kamar maupun temperatur *cryogenic*. Ini mengindikasikan bahwa daerah pengelasan logam pengisi sangat retan terhadap kerusakan (*fracture*) pada kondisi beban kejut yang tidak besar dan harus menjadi perhatian khusus pada perancang semisal pengelasan bejana tekan (*pressur vassel*). Tampilan permukaan patahan secara umum terlihat sebagai patah getas dan menjadi semakin getas pada temperatur *cryogenic* sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 11 dibawah ini.



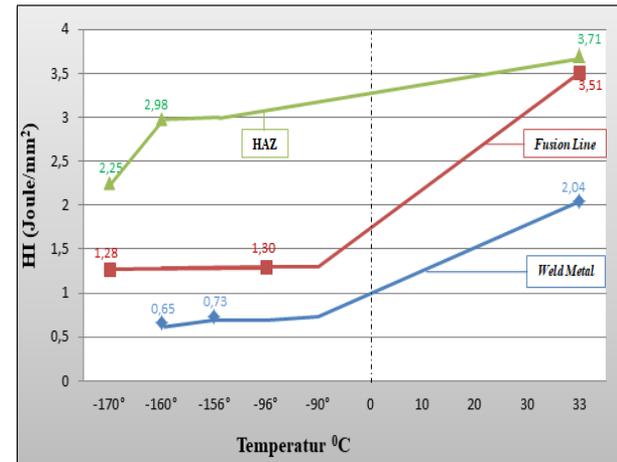
Gambar 11 (a) Hasil pengujian ketangguhan temperatur 33⁰C spesimen patah getas (b) hasil pengujian ketangguhan temperatur -156⁰C spesimen patah getas

3.5 Temperatur Transisi Pada Sambungan Baja Tahan Karat AISI 304

Temperatur transisi adalah temperatur yang menunjukkan transisi perubahan jenis perpatahan suatu bahan bila diuji pada temperatur yang berbeda. Pada pengujian dengan temperatur yang berbeda maka akan terlihat bahwa pada temperatur tinggi material akan bersifat ulet (*ductile*) sedangkan pada temperatur rendah material akan bersifat rapuh atau getas (*brittle*).

Dengan bertambahnya temperatur, maka ukuran butir makin membesar sehingga jaraknya semakin dekat dan ikatannya menguat serta ketangguhannya meningkat, namun masih getas. Dengan demikian energi impaknya meningkat.

Kemudian apabila temperatur makin meningkat, hingga material mencapai keuletan sampai pada temperature maksimalnya, energi yang dibutuhkan untuk mematahkannya akan bertambah pula sampai nilai maksimum. Selanjutnya jika lewat dari titik ini, maka energi akan menurun karena adanya deformasi. Adapun grafik temperatur transisi pada sambungan pengelasan baja AISI 304 dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12 Temperatur transisi pada sambungan pengelasan baja AISI 304

Gambar grafik 12 diatas menunjukkan bahwa temperatur transisi pada sambungan pengelasan baja AISI 304. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa temperatur sangat berpengaruh pada ketangguhan suatu material. Dimulai dari rapuh, yakni pada suhu yang sangat rendah. Pada tahap ini, akibat suhu yang sangat rendah mengakibatkan ukuran butir mengecil sehingga jarak antar butir semakin jauh, ikatan melemah, dan rapuh. Dengan demikian material amat mudah patah, sehingga energi yang dibutuhkan untuk mematahkannya sangat kecil pula.

4 Kesimpulan Dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat penulis simpulkan dari hasil pengelasan pengaruh temperatur *cryogenic* terhadap ketangguhan impact pada material *stainless steel* aisi 304 adalah sebagai berikut:

1. Pada pengujian impak sambungan pengelasan baja AISI 304 terlihat ada penurunan penyerapan energi impak yang bisa diserap pada daerah HAZ, daerah *fusion line* dan *weld metal* yang sangat signifikan yang terjadi pada temperatur ruangan.

2. Hasil perbandingan nilai pengujian *impact temperature* ruangan dengan temperature *cryogenic* pada daerah HAZ. Temperatur ruangan menghasilkan harga impak dengan nilai rata-rata 3,71 joule/mm² dan temperatur -160 °C menghasilkan harga impak 2,69 Joule/mm², dan turun lagi energi impak yang bisa diserap pada temperatur -170 °C menjadi 2,25 joule/mm². Disini terlihat ada penurunan penyerapan energi impak pada temperatur *cryogenic*.
3. Hasil nilai pengujian *impact* tertinggi terdapat pada temperatur ruangan di daerah HAZ yaitu 3,71 joule/mm²
4. Hasil nilai pengujian *impact* terendah terdapat pada temperatur *cryogenic* di daerah *weld metal* yaitu 0.65 joule/mm² pada temperature -160°C
5. Berdasarkan hasil pengujian *impact* material *stainless steel* aisi 304 temperatur *cryogenic* dan temperatur ruangan, terlihat jelas bahwa kekuatan beban kejut material *stainless steel* aisi 304 pada pengujian temperatur *cryogenic* menurun di daerah HAZ, *fusion line*, dan *weld metal* dibandingkan dengan kekuatan beban kejut material *stainless steel* aisi 304 pada temperatur ruangan.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan Ada beberapa saran yang perlu penulis sampaikan agar penelitian berikutnya lebih sempurna, saran yang disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu ditambahkan inspeksi pada hasil pengelasan untuk mengetahui hasil las sudah sesuai dengan spesifikasi, karena cacat las yang terjadi akibat kesalahan pada proses pengelasan akan mempengaruhi data dari proses pengujian.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan setelah melakukan pengelasan seperti pengujian uji tarik (*Tensile Strength*) untuk mengetahui kekuatan tarik, serta pengujian mikro untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada pengaruh temperatur *cryogenic*

5 Daftar Pustaka

- [1] Flynn, Thomas, 1997. "Cryogenic Engineering". New York: Marcel Dekker.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Cryogenics>.
- [3] Bachtiar, Aryan. 2016. *Analisis sifat fisik dan mekanik bahan baja ss-400 dengan variabel arus pengelasan shielded metal arc welding (smaw) terhadap kekuatan tarik dan mikrostruktur*. Tugas akhir, 2016. Teknik Otomotif & Manufaktur, Politeknik Muhammadiyah Yogyakarta.
- [4] Muvariz, M. F., & Pamungkas, (2010). *Uji Ketangguhan Material Baja A36 Berdasarkan Metode Pengujian Impak Astm*. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Batam.