



Pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan ketangguhan hasil pengelasan material AISI 1050 pada proses las MAG

*Azwinur¹, A. Jannifar¹, M. Yudi¹, Zulkifli²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe,
Lhokseumawe, 24301, Indonesia

*Email: azwinur@pnl.ac.id

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan,
Balikpapan, 76129, Indonesia

Abstrak

Temperatur media pendingin merupakan substansi yang berfungsi untuk menentukan kecepatan proses pendinginan terhadap material yang telah diberikan perlakuan panas dari hasil pengelasan. Pendinginan menjadi salah satu alternatif untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat mekanik pada material pasca pengelasan. Pemilihan temperatur media pendingin sangatlah penting untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang baik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan ketangguhan sambungan material AISI 1050 menggunakan proses las MAG. Media pendingin yang divariasikan adalah air biasa, air laut, dan udara. Proses las yang digunakan adalah proses las MAG (*Metal active gas*) dengan gas pelindung CO², material yang digunakan jenis AISI 1050 dengan pengujian mekanik uji kekerasan dan impak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jenis media pendingin mempengaruhi kekuatan sambungan pengelasan dari segi nilai kekerasan dan ketangguhan material menerima beban. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ 1, HAZ 2 dan *weld metal* terjadi pada penggunaan media pendingin air laut dimana pada HAZ 1 sebesar 71, 63, HAZ 2 sebesar 73,5 dan *weld metal* sebesar 70, sedangkan nilai terendah pada penggunaan media pendingin udara dimana pada HAZ 1 sebesar 65,63, HAZ 2 sebesar 63,75 dan *weld metal* sebesar 58,83. Hasil pengujian ketangguhan impak didapatkan bahwa pada penggunaan media pendingin air laut mempunyai nilai ketangguhan yang tertinggi sebesar 1,83 joule/mm², kemudian diikuti dengan media udara sebesar 1,75 joule/mm², dan yang terendah pada penggunaan air biasa sebesar 1,50 joule/mm².

Kata Kunci: media pendingin, las MAG, gas CO², kekerasan, ketangguhan

The effect of cooling media on the hardness and toughness of AISI 1050 material in the MAG welding process

Abstract

The temperature of the cooling medium is a substance that serves to determine the speed of the cooling process of the material that has been given heat treatment from the welding results. Cooling is an alternative to improve and improve the mechanical properties of post-welding materials. The selection of the temperature of the cooling medium is very important to get a good connection strength. The purpose of this study was to determine the effect of the cooling media on the hardness and toughness of AISI 1050 material using the MAG welding process. The cooling media which are varied are water, sea water, and air. The welding process used is the welding process MAG (Metal active gas) with CO² protective gas, the material used type AISI 1050 with mechanical testing hardness and impact test. The results showed that the use of the type of cooling media affects the strength of the welding joint in terms of the value of the hardness and toughness of the material receiving the load. The highest hardness value in the HAZ 1, HAZ 2 and weld metal areas occurs in the use of sea water cooling media where in HAZ 1 is 71, 63, HAZ 2 is 73.5 and weld metal is 70, while the lowest value in the use of air conditioning media where on HAZ 1 of 65.63, HAZ 2 of 63.75 and weld metal of 58.83. The impact toughness test results found that the use of seawater cooling media has the highest toughness value of 1.83 joules / mm², then followed by air media of 1.75 joules / mm², and the lowest is the water use of 1.50 joules/mm².

Keywords: cooling media, MAG welding, CO₂ gas, hardness, toughness

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang manufaktur yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi menggunakan baja karbon

banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya pada konstruksi mesin.

Baja adalah paduan Fe-C (kandungan Carbon maksimum sekitar 2%) yang dapat mengandung elemen paduan lainnya, sesuai dengan aplikasinya. Bahkan variasi rendah dalam komposisi tersebut

dapat menyebabkan perbedaan besar dalam sifat mekanik, karena struktur akhir dapat berubah sesuai dengan pengolahan manufaktur dan juga siklus perlakuan panas yang diterapkan[1].

Teknologi pengelasan merupakan salah satu bagian yang tidak bisa dipisahkan dalam proses ma-nufaktur, ruang lingkup penggunaan teknologi pengelasan meliputi rangka baja, perkapalan, jembatan, kereta api, pipa saluran dan lain sebagainya[2].

Pengelasan merupakan penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan memegang peranan penting dalam dunia industri. Di antara berbagai jenis pengelasan, las MIG/MAG merupakan pengelasan yang sangat efektif karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan pengelasan lainnya terutama dibidang produktivitasnya yang lebih tinggi dan berkualitas baik[3].

Parameter pengelasan GMAW mempengaruhi kualitas, produktivitas, dan biaya sambungan las. Busur las yang sempurna akan tercapai jika semua parameter pengelasan sesuai. Parameter ini terdiri dari arus pengelasan busur, tegangan busur, kecepatan pengelasan, sudut *torch*, panjang kawat las, jarak nozzle, posisi dan arah pengelasan dan terakhir laju aliran gas[4].

Dalam proses pengelasan mengalami pemanasan yang menyebabkan terjadinya perubahan siklus termal cepat yang menyebabkan perubahan struktur, deformasi, dan tegangan termal. Perubahan struktur terjadi karena kecepatan pendinginan dari suhu austenit sampai ke suhu kamar. Jika kecepatan pendinginan naik, berarti waktu pendinginan temperatur turun lambat terhadap suhu kamar. Dengan begitu, maka akan membentuk struktur butir yang rapat karena laju pendinginan yang lambat. Laju pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur semakin rapat sehingga kekerasan dan nilai kekuatan tariknya menurun.

Proses pendinginan bertujuan untuk mendapatkan struktur martensite, semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensite yang terbentuk juga akan semakin banyak. Martensite terbentuk dari fase austenite yang didinginkan secara cepat, sehingga kekerasannya meningkat[5][6].

Temperatur media pendingin merupakan substansi yang berfungsi untuk menentukan kecepatan proses pendinginan terhadap material yang telah diberikan perlakuan panas dari hasil pengelasan. Pendinginan menjadi salah satu alternatif untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat mekanik pada material pasca pengelasan. Pemilihan temperatur media pendingin sangatlah penting untuk mendapatkan struktur martensit. Hal ini disebabkan karena semakin banyak unsur karbon terperangkap, maka struktur martensit yang terbentuk juga semakin banyak. Hal tersebutlah yang menyebabkan peningkatan nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik pada suatu bahan. Ada beberapa media pendingin

yang digunakan salah satunya adalah air biasa karena hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kekerasan baja menggunakan media air lebih tinggi dibandingkan dengan media lain yang dipelajari, dikarenakan deformasi struktur ferrit menjadi pearlit[7].

Penggunaan media pendingin juga berpengaruh pada proses pengelasan konstruksi alat berat (*excavator*)[8] dan juga konstruksi kapal[9], [10], Nanda Julian, dkk dalam penelitiannya menggunakan proses las MAG menyatakan bahwa media pendingin air dengan kuat arus pengelasan 90 A maupun 100 A memiliki kekuatan tarik terbesar dari jenis pendingin dan kuat arus lainnya. Untuk regangan tarik tertinggi ada pada variasi pendinginan udara pada kuat arus 90 A dan untuk media pendingin air 90 A memiliki harga modulus elastisitas tertinggi[11].

Pada penelitian lainnya tentang analisis kekuatan tarik baja St37 pasca pengelasan dengan variasi media pendingin menggunakan SMAW menunjukkan kekuatan tarik baja dengan menggunakan media pendingin air garam didapatkan rata-rata nilai kekuatan tariknya yakni 52.396 kg/mm², dengan menggunakan media pendingin air kelapa didapatkan nilai rata-rata kekuatan tariknya yaitu 49.764 kg/mm², sedangkan untuk media pendingin oli bekas didapatkan nilai rata-rata kekuatan tariknya yaitu 53.158 kg/mm²[12].

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan ketangguhan material AISI 1050 pada hasil pengelasan MAG .

2. Metode Penelitian

Proses las yang digunakan adalah Proses las MAG (*Metal Active Gas*), pengelasan Metal Inert Gas/ Metal Active Gas (MIG/MAG) adalah proses pengelasan busur listrik (arc welding) dimana bahan tambah diumpankan oleh satu gulungan kawat elektroda dan dicairkan oleh efek Joule dan busur listrik. Gas inert yang umumnya gas berbasis argon (pengelasan MIG) sedangkan gas aktif yang umumnya gas berbasis CO₂ (pengelasan MAG) digunakan sebagai plasma untuk pencetus busur listrik dan sebagai gas pelindung untuk logam pada temperatur tinggi untuk menghindari kontaminasi dengan oksigen dan nitrogen. Generator pengelasan mensuplay energi listrik yang dibutuhkan untuk mencairkan logam dan pencetus busur dan menjaga kesinambungan aliran kawat dan benda kerja yang dilas[13]. Las SMAW adalah pengelasan dengan elektroda terbungkus dimana pelindung logam las adalah selaput pada elektroda, kekurangan dari las SMAW adalah pengelasannya yang potensi cacat las lebih besar karena pengaruh dari perlakuan elektroda seperti elektroda yang lembab dan harus dipanaskan, pengaruh *coating* dan panjang elektroda yang terbatas sehingga kurang efektif untuk proyek pengelasan, sedangkan las MAG elektrodanya

merupakan gulungan tanpa ada pembungkus dengan menggunakan gas sebagai pelindung sehingga elektrodanya mudah dalam penggunaannya, dan bisa mengelas tanpa pergantian elektroda seperti SMAW untuk pengelasan material ukuran panjang.

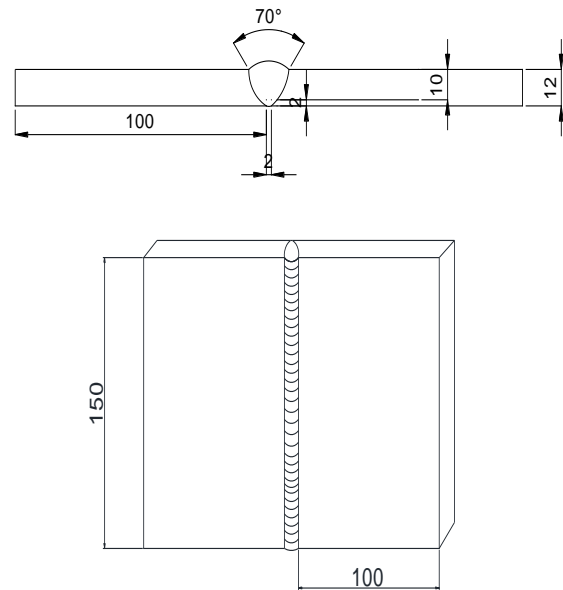
Material yang digunakan pada penelitian ini adalah AISI 1050 yang merupakan jenis baja karbon sedang. Komposisi kimia dari baja AISI 1050 dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1050

Unsur Kimia	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
Persentase	0,4	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	87	20	08	10	09	50	30

Media pendingin yang digunakan adalah air biasa, air laut dan udara. Variasi media pendingin ini karena kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, media pendingin merupakan suatu substansi yang berfungsi dalam menentukan kecepatan pendinginan yang dilakukan terhadap material yang telah diuji dalam perlakuan panas. Sifat mekanik yang dihasilkan oleh media pendingin memiliki perbedaan kapasitas pendingin dari masing-masing media pendingin. Dimana kapasitas media pendingin akan menentukan struktur butir yang terjadi, karena secara langsung berpengaruh terhadap sifat mekanik dari hasil pengelasan[14]

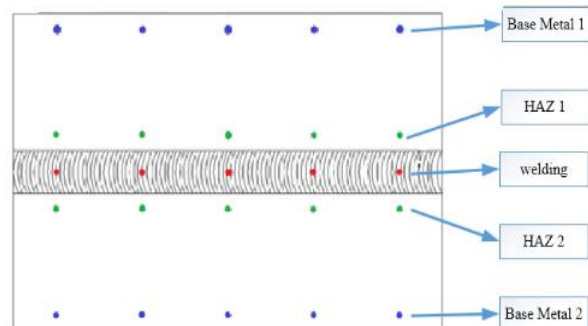
Metode awal adalah melakukan pengelasan menggunakan proses las MAG dengan gas pelindung CO² (Flow meter 15 LPM), elektroda yang digunakan ER70S-6 menggunakan arus 90 Ampere untuk *root pass* dan *fill/ Cap* dengan arus 120 Ampere. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V tunggal dengan sudut kemiringan sudut kampuh 70°. Posisi pengelasan menggunakan posisi 3G. Material yang di las sebanyak 3 sambungan dan pada specimen pertama setelah di las langsung didinginkan dengan di celup kedalam air biasa sampai suhunya kembali normal. Kemudian untuk specimen kedua setelah di las juga langsung didinginkan dengan di celup kedalam air laut sampai suhunya kembali normal. Selanjutnya yang terakhir specimen ketiga setelah di las langsung didinginkan menggunakan udara sampai suhunya kembali normal.



Gambar 1. Dimensi spesimen

Dimensi material adalah lebar 100 mm, panjang 300 mm dengan ketebalan 10 mm. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V tunggal, dengan *root face* 2 mm, *gap* dengan jarak 2 mm.

Setelah proses las dilakukan selanjutnya melakukan proses pengujian kekerasan pada ketiga spesimen seperti pada gambar dibawah ini:



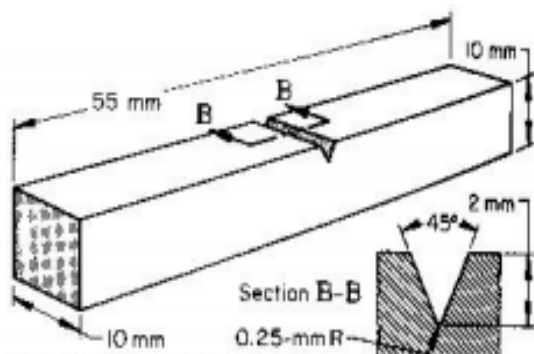
Gambar 2. Titik pengujian kekerasan pada spesimen

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell C* (HRC) untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ.

Setelah pengujian kekerasan dilakukan pengujian *Impact* yang merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Prinsip pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi.

Ketangguhan adalah tahanan beban terhadap beban tumbukan atau kejutan. Tujuan utama dari pengujian *impact* adalah untuk mengukur getasan atau keuletan bahan terhadap beban tiba – tiba dengan cara mengukur energy potensial sebuah palu logam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian *impact* adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba–tiba).

Standar yang digunakan pada penelitian ini adalah ASTM E 23 dengan dimensi luas penampang melintang berupa bujursangkar adalah 10 x 10 mm dengan notch V-45°, jari-jari dasar 0.25 mm dan kedalaman takik 2 mm. Dimensi specimen uji *impact* seperti gambar berikut



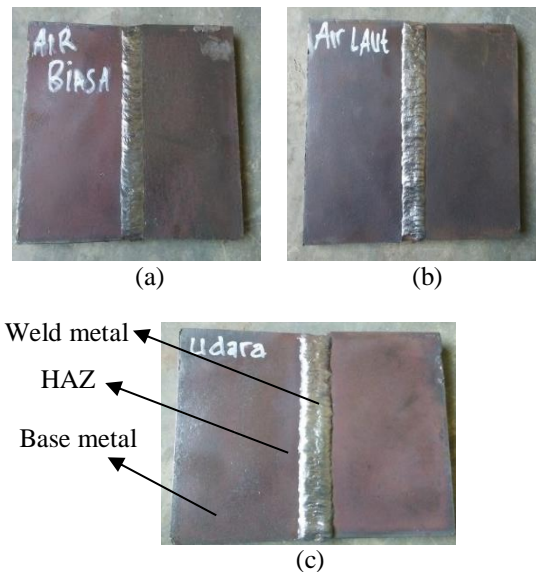
Gambar 3. Dimensi spesimen uji *impact*[15]

Takikan pada specimen uji *impact* dibuat pada daerah *weld metal* dengan sisi *root* dan *caping*. Posisi takikan ini ditentukan untuk mengetahui ketangguhan sambungan pengelasan pada area *weld metal*.

3. Hasil Dan Pembahasan

Dalam penelitian ini dilakukan proses pengelasan MAG pada material AISI 1050 dengan arus pengelasan *root* 90 Ampere untuk ketiga sambungan dan pengelasan *fill/ cap* 120 Ampere untuk setiap jenis media pendingin. Setiap hasil pengelasan yang pendinginnya menggunakan air biasa, air laut, dan udara selanjutnya dilakukan pengujian mekanik yaitu uji kekerasan dan uji *impact*.

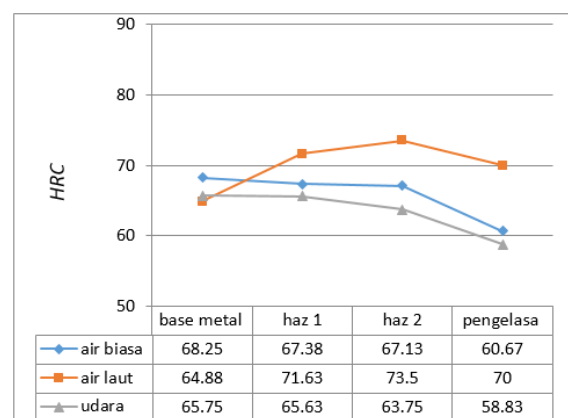
Proses pengelasan material menggunakan proses las MAG dengan variasi media pendingin air biasa, air laut, dan udara dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Pengelasan MAG media pendingin (a) air biasa, (b) air laut, (c) udara

3.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell* (HRC) dengan pembebanan sebesar 150 Kgf. Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ. Hasil pengujian kekerasan *Rockwell* ditunjukkan pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Nilai rata-rata kekerasan pada setiap media pendingin

Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa nilai kekerasan *Rockwell* C (HRC) pada pengelasan menggunakan media pendingin air biasa menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan pada daerah *base metal* sebesar 68,25, daerah HAZ 1 67,38, HAZ 2 sebesar 67,13 dan daerah pengelasan (*weld metal*) sebesar 60,67. Dari data menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada daerah pengelasan atau *weld metal* dibandingkan dengan daerah *base metal* atau logam induk sehingga perlakuan pengelasan menggunakan proses las MAG dan penggunaan media pendingin berpengaruh terhadap nilai kekerasan material.

Kemudian pada pengelasan menggunakan media pendingin air laut menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan pada daerah base metal sebesar 64,88, daerah HAZ 1 71,63, HAZ 2 sebesar 73,5 dan daerah pengelasan (*weld metal*) sebesar 70. Dari data menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai kekerasan pada daerah pengelasan atau *weld metal* dibandingkan dengan daerah *base metal* atau logam induk sehingga perlakuan pengelasan menggunakan proses las MAG dan penggunaan media pendingin berpengaruh terhadap nilai kekerasan material.

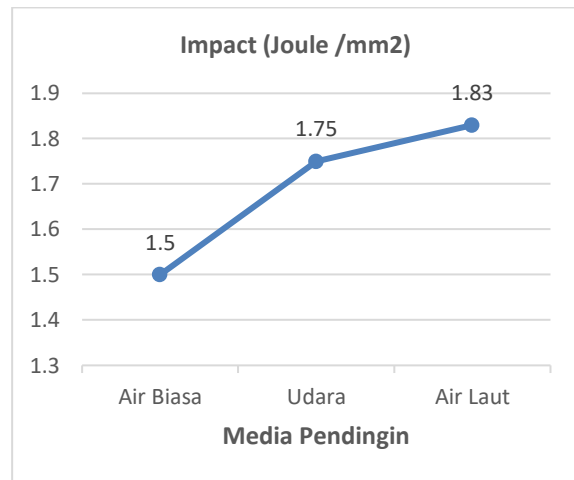
Pada pengelasan menggunakan media pendingin udara menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan pada daerah base metal sebesar 65,75, daerah HAZ 1 65,63, HAZ 2 sebesar 63,75 dan daerah pengelasan (*weld metal*) sebesar 58,83. Dari data menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada daerah pengelasan atau *weld metal* dibandingkan dengan daerah *base metal* atau logam induk sehingga perlakuan pengelasan menggunakan proses las MAG dan penggunaan media pendingin berpengaruh terhadap nilai kekerasan material.

Dari gambar 5 juga mengungkapkan bahwa profil kekerasan hasil pengelasan dengan media pendingin menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya. Di semua sambungan, nilai kekerasan maksimum diukur di area zona yang terkena panas (HAZ). Variasi dalam kekerasan hasil lasan dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, terutama akibat tegangan sisa setelah pengelasan. Namun, faktor-faktor lain seperti ukuran butir, komposisi fase dan inklusi logam juga dapat berkontribusi pada pengerasan ini[16]. Hal ini disebabkan oleh proses pengelasan yang menimbulkan panas dan mengakibatkan terjadinya siklus termal yang mengubah sifat dari materialnya. Nilai kekerasan tertinggi pada raw material adalah 68.25 N/mm². Logam lasan ini merupakan material logam induk dan elektroda yang melebur dan bercampur saat proses pengelasan berlangsung yaitu pada saat fasa cair/liquid dengan temperatur berada lebih dari 1500⁰C yang kemudian menjadi solid solution dan mengalami proses pembekuan/ solid. Struktur mikro yang biasanya terbentuk dicirikan dengan struktur yang berbutir panjang/columnar grains[17]. Daerah HAZ merupakan daerah dari sebuah material induk yang terkena pengaruh oleh panas pada saat proses pengelasan berlangsung. Temperatur yang terjadi pada daerah ini memiliki nilai yang lebih rendah dari pada logam lasan yang mencair yaitu pada temperatur solid solution.

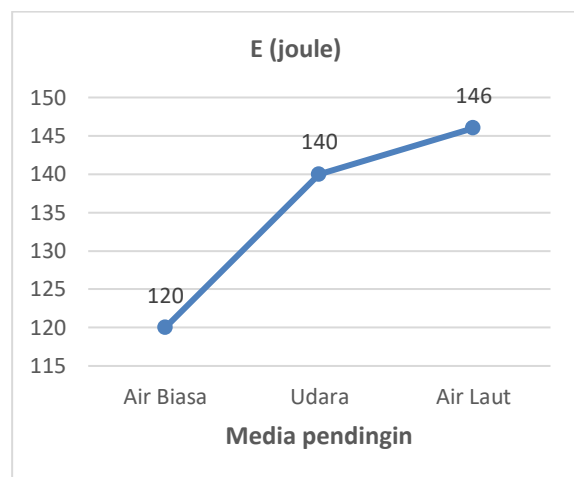
3.2 Pengujian Impact

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan dan ketahanan benda uji terhadap beban dinamis. Uji *impact* dilakukan dalam satu kali pukulan untuk satu benda uji. Patahan pada spesimen umumnya berawal dari takikan yang ada pada spesimen uji *impact* itu[18].

Hasil pengujian beban *impact* dengan menggunakan mesin charpy, didapat nilai *impact* dan energi yang diserap (E) pada hasil spesimen uji adalah seperti berikut ini.



Gambar 6. Nilai ketangguhan (*impact*)



Gambar 7. Nilai energi yang diserap

Berdasarkan gambar 6 dan 7 diatas menunjukkan bahwa nilai energi yang diserap untuk ketiga media pendingin berbeda antara penggunaan media air biasa, udara dan air laut. Dimana hasil dari penggunaan media air biasa, energi yang diserap adalah 120 joule, media udara sebesar 140 joule, dan media air laut sebesar 146 joule. Sedangkan nilai ketangguhan yang tertinggi pada penggunaan media air laut sebesar 1,83 joule/mm², kemudian diikuti dengan media udara sebesar 1,75 joule/mm², dan yang terendah pada penggunaan air biasa sebesar 1,50 joule/mm².

Berdasarkan hasil pengujian *impact*, patahan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 8, 9, 10 dan 11 di bawah ini :



Gambar 8. Spesimen hasil uji impact.



Gambar 9. Pepatahan uji impact media pendingin air biasa



Gambar 10. Pepatahan uji impact media pendingin air laut



Gambar 11. Pepatahan uji impact media pendingin udara

Pada pengujian impact perpatahan terjadi di daerah *weld metal*, maksud di lakukan pengujian di area *weld metal* ini di titik beratkan pada kekuatan lasan pada material baja AISI 1050 menggunakan proses las MAG terhadap ketangguhan impact atau ketangguhan tumbuk.

Bentuk perpatahan pada uji impact terdiri dari patahan getas dan ulet, patahan getas merupakan fenomena patah pada material yang diawali terjadinya retakan secara cepat dibandingkan patah ulet tanpa deformasi plastis terlebih dahulu dan dalam waktu yang singkat. Dalam kehidupan nyata, peristiwa patah getas lebih berbahaya daripada payah ulet karena terjadi tanpa disadari begitu saja. Biasanya pada getas terjadi pada material berstruktur martensit, atau material yang memiliki komposisi karbon yang sangat tinggi sangat kuat tetapi rapuh.

Patahan ulet merupakan patah yang diakibatkan beban statis yang diberikan pada material, jika beban dihilangkan maka penjaralan retak akan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energy disertai dengan penyerapan energy disertai adanya deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan Nampak kasar, beserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu. Selain itu, komposisi material juga mempengaruhi jenis patahan yang dihasilkan, jadi bukan karena pengaruh beban saja. Biasanya patah ulet terjadi pada material berstruktur banit yang merupakan baja dengan karbon yang rendah.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penggunaan jenis media pendingin pada proses pengelasan MAG mempengaruhi kekuatan sambungan pengelasan dari segi nilai kekerasan dan ketangguhan material menerima beban. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ 1, HAZ 2 dan *weld metal* terjadi pada penggunaan media pendingin air laut dimana pada HAZ 1 sebesar 71, 63, HAZ 2 sebesar 73,5 dan *weld metal* sebesar 70, sedangkan nilai terendah pada penggunaan media pendingin udara dimana pada HAZ 1 sebesar 65,63, HAZ 2 sebesar 63,75 dan *weld metal* sebesar 58,83. Hasil pengujian ketangguhan impact didapatkan bahwa pada penggunaan media pendingin air laut mempunyai nilai ketangguhan yang tertinggi sebesar 1,83 joule/mm², kemudian diikuti dengan media udara sebesar 1,75 joule/mm², dan yang terendah pada penggunaan air biasa sebesar 1,50 joule/mm². Berdasarkan permukaan patahan menunjukan terjadinya pepatahan ulet deformasi plastis yang cukup besar di sekitar pepatahan, sehingga terjadi permukaan patahan yang sama yaitu pepatahan ulet dan tidak merata

Referensi

- [1] L. C. F. Cananle, J. Vatavuk, and G. E. Totten, "Introduction to steel heat treatment, Comprehensive Materials Processing," 2014.
- [2] Wiryosumarto H., *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Erlangga, 2000.
- [3] I. A. Ibrahim, S. A. Mohamat, A. Amir, and A. Ghalib, "The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters," *Procedia Eng.*, vol. 41, pp. 1502–1506, 2012.
- [4] E. Karadeniz, U. Ozsarac, and C. Yildiz, "The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes," *Mater. Des.*, vol. 28, no. 2, pp. 649–656, 2007.
- [5] H. Saputra and A. Syarief, "Analisis pengaruh media pendingin terhadap kekuatan tarik baja st37 pasca pengelasan menggunakan las listrik," *J. Ilm. Tek. Mesin Unlam*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2014.
- [6] A. Prayogi, "Analisa pengaruh variasi media pendingin pada perlakuan panas terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon rendah," *J. POLIMESIN*, vol. 17, no. 2, pp. 83–90, 2019.
- [7] N. H. Sari, "Perlakuan panas pada baja karbon: efek media pendinginan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro," *J. Tek. Mesin Mercu Buana*, vol. 6, no. 4, pp. 263–267, 2017.
- [8] Z. ZULKIFLI, B. Dahlan, and N. Fatimah, "Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Mekanik Pada Hasil Pengelasan Metode Smaw Material Baja St 52," *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 48–51, 2020.
- [9] H. F. Rohman, G. D. Haryadi, Y. Umardani, and A. T. Hardjuno, "Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42," *J. Tek. MESIN*, vol. 2, no. 3, pp. 195–203, 2014.
- [10] M. Huda, S. M. B. Respati, and H. Purwanto, "PENGELASAN PLAT KAPAL DENGAN VARIASI JENIS ELEKTRODA DAN MEDIA PENDINGIN," *Maj. Ilm. MOMENTUM*, vol. 14, no. 2, 2018.
- [11] N. Julian, "Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MAG Dengan Variasi Arus Pengelasan dan Media Pendingin Sebagai Material Lambung Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [12] Y. Maulana, "Analisis Kekuatan Tarik Baja St37 Pasca Pengelasan Dengan Variasi Media Pendingin Menggunakan Smaw," *AL-JAZARI J. Ilm. Tek. MESIN*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [13] J.-P. Planckaert, E.-H. Djermoune, D. Brie, F. Briand, and F. Richard, "Modeling of MIG/MAG welding with experimental validation using an active contour algorithm applied on high speed movies," *Appl. Math. Model.*, vol. 34, no. 4, pp. 1004–1020, 2010.
- [14] A. Januar, "KAJIAN HASIL PROSES PENGELASAN MIG DAN SMAW PADA MATERIAL ST41 DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGIN (Air, Collent, dan Es) TERHADAP KEKUATAN TARIK," *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 02, 2016.
- [15] ASTM E 23. *Standard Test Method for Notched Bar Impact of Metallic Materials*. USA. 1994.
- [16] S. Chandran, N. M. Nagarajan, and K. College, "Comparative Studies nn Joining of Structural Steels Using MIG and Arc Welding," *IJRSR*, vol. 7, pp. 12405–12410, 2016.
- [17] S. S. Serope Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Teknologi*, 7th ed. Singapore: Person Education Soputh Asia Pte Ltd, 2014.
- [18] S. A. Jalil, Z. Zulkifli, and T. Rahayu, "ANALISA KEKUATAN IMPAK PADA PENYAMBUNGAN PENGELASAN SMAW MATERIAL ASSAB 705 DENGAN VARIASI ARUS PENGELASAN," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 58, Sep. 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.376.