



ANALYSIS OF DEFECTS RESULTING FROM SMAW WELDING ON STEEL CARBON ST 41 WITH COOLING VARIATIONS

ANALISA CACAT HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA KARBON ST 41 DENGAN VARIASI PENDINGIN

Adi Irawan¹ Asmar Finali² I Gusti Ngurah Agung Satria Prasetya Dharma Yudha³ Mega Lazuardi Umar⁴ Rochmad Eko Prasetyaning Utomo⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Banyuwangi

E-mail: adhiirawan680@gmail.com¹

ARTICLE INFO

Correspondent:

Adi Irawan

adhiirawan680@gmail.com

Key words:

SMAW, Steel, Coolant, Penetrant, (MPI).

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Page: 1440 - 1452

ABSTRACT

Technological advances make it impossible for us to get rid of the need for metal elements, for example, in the field of construction. SMAW welding (Shielded metal arc welding) has extensive applications in the industrial world, SMAW soldering provides high connection strength efficiency. Magnetic Particle Inspection (MPI) is a non-destructive test used to detect cracks and other discontinuities on the surface of a ferromagnetic material, one of which is the result of welding steel structures. Penetrant Test is a type of non-destructive or non-destructive test (NDT) that aims to check the material surface for welding defects or not. This research method uses experimental methods where this method aims to test the influence of one coolant with the other. The research is to eliminate the defects of the welded low-carbon steel ST 41 post-welding SMAW on the V-camp connection with the variation of water cooling media, coolant, and oil. The results of welding using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method with the E6013 electrode and current variations on each specimen show some important findings. The cooling process of the ST41 material is carried out after the welding process using three types of cooling media: water, coolant, and oil. The results of testing using the Magnetic Particle Inspection method obtain a record of welding results such as: Underfill and Undercut, whereas in the Penetrant method test obtained a defective welding result such as: Porosity, Underfill, Spatter, Slag Inclusion, and Overlap. Magnetic Particle Inspection and Penetrant Test methods show that the use of water as a cooling medium provides the best results in reducing welding defects compared to coolants and oils, therefore, water as cooling media is more effective in improving welding quality, producing stronger connections and fewer defects.

Copyright © 2024 JSCR. All rights reserved.

INFO ARTIKEL

Koresponden

Adi Irawan

adhiirawan680@gmail.com

Kata kunci:

SMAW, Baja, Pendingin,
Penetrant, MPI.

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Hal: 1440 - 1452

ABSTRAK

Kemajuan teknologi membuat kita tidak bisa lepas dari kebutuhan unsur logam, contohnya saja pada bidang konstruksi. Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) mempunyai aplikasi luas di dalam dunia industri, pengelasan SMAW memberikan efisiensi kekuatan sambungan yang tinggi. *Magnetic Particle Inspection* (MPI) merupakan salah satu pengujian tidak merusak yang digunakan untuk mendeteksi retakan dan diskontinuitas lain yang berada di permukaan material ferromagnetic, salah satunya yaitu hasil pada pengelasan *steel structure*. *Penetrant Test* adalah jenis pengujian tidak merusak atau *Non Destructive Test* (NDT) yang bertujuan memeriksa permukaan material terdapat cacat las atau tidak. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana metode ini bertujuan untuk menguji pengaruh pendingin satu dengan pendingin lainnya. Penelitian ini adalah menganalisis cacat hasil pengelasan baja karbon rendah ST 41 pasca pengelasan SMAW pada sambungan kampuh V dengan media variasi pendingin air, *coolant*, dan oli. Hasil pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan elektroda E6013 dan variasi arus pada masing-masing spesimen menunjukkan beberapa temuan penting. Proses pendinginan material ST41 proses tersebut dilakukan setelah proses pengelasan dengan menggunakan tiga jenis media pendingin yaitu: air, *coolant*, dan oli. Hasil dari pengujian menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* mendapatkan cacat hasil pengelasan seperti: *Underfill* dan *Undercut*, sedangkan pada metode *Penetrant Test* mendapatkan hasil cacat hasil pengelasan seperti: *Porosity*, *Underfill*, *Spatter*, *Slag Inclusion*, dan *Overlap*. Metode *Magnetic Particle Inspection* dan *Penetrant Test* menunjukkan bahwa penggunaan air sebagai media pendingin memberikan hasil terbaik dalam mengurangi cacat pengelasan dibandingkan dengan *coolant* dan oli, Oleh karena itu, air sebagai media pendingin lebih efektif dalam menjaga kualitas pengelasan, menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan lebih sedikit cacat.

Copyright © 2024 JSCR. All rights reserved.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi membuat kita tidak bisa lepas dari kebutuhan unsur logam, contohnya saja pada bidang konstruksi. Penggunaan baja sebagai bahan konstruksi tentunya diatur oleh perencanaan struktur baja yang telah memenuhi kriteria perencanaan seperti yang telah ditetapkan. Baja karbon merupakan logam yang digunakan untuk memproduksi komponen mesin berkekuatan rendah seperti poros, roda gigi. Karena memiliki kandungan karbon rendah baja ini mudah dikerjakan

dengan berbagai peralatan pemesinan maupun perkakas dan dibentuk sesuai kebutuhan, karena sifatnya yang ulet dan lunak.

Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) mempunyai aplikasi luas di dalam dunia industri, pengelasan SMAW memberikan efisiensi kekuatan sambungan yang tinggi. Salah satu jenis pengelasan yang banyak dipakai untuk mengelas baja karbon adalah SMAW, antara lain dapat diandalkan untuk mengelas berbagai tipe sambungan, posisi, serta lokasi yang sulit dikerjakan, biaya pengoperasian yang relatif rendah dan dapat dipakai untuk mengelas didalam maupun diluar ruangan.

Pengelasan adalah salah satu proses krusial dalam industri manufaktur dan konstruksi, yang memainkan peran penting dalam menggabungkan material logam untuk menciptakan struktur yang kuat dan tahan lama. Meskipun sering dianggap sebagai metode penggabungan yang sangat efektif, proses pengelasan tidak luput dari tantangan dan masalah yang mungkin muncul. Salah satu masalah umum yang sering dihadapi dalam pengelasan adalah cacat las. Cacat las biasanya terbentuk karena beberapa faktor arus yang terlalu tinggi atau rendah, kecepatan pengelasan yang tidak sesuai, pendinginan terlalu cepat dan lain-lain. Faktor tersebut harus diperhatikan agar terciptanya hasil las yang maksimal yang nantinya akan meningkatkan nilai mutu pada produk.

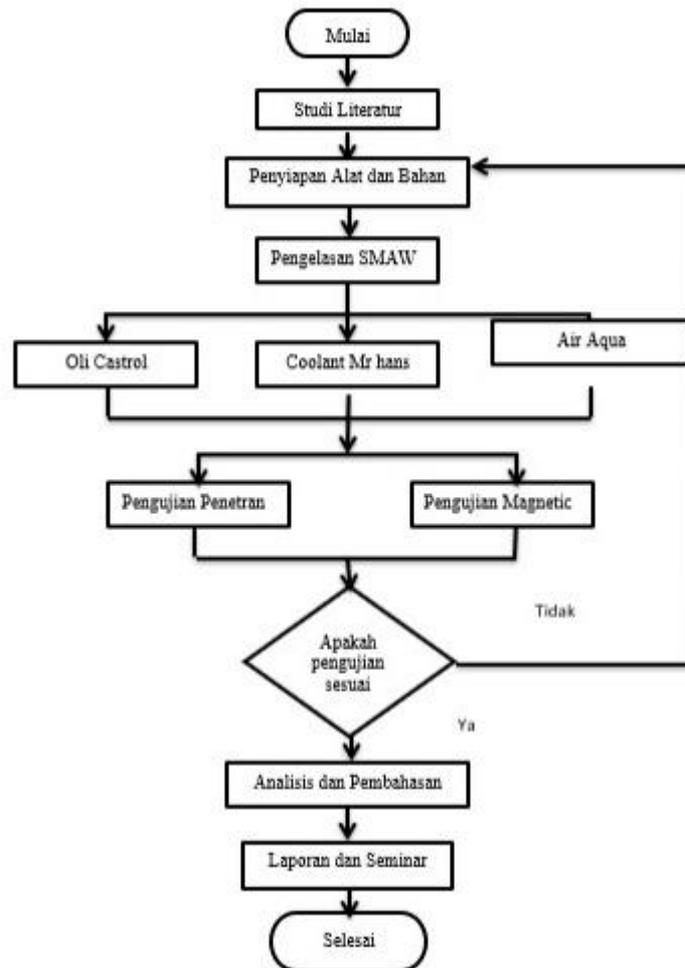
Salah satu cara untuk memperbaiki sifat mekanis bahan setelah dilakukan pengelasan tersebut yaitu dengan melalui proses pendinginan. Proses pendinginan ini dilakukan pada saat material dalam keadaan panas. Setelah proses pengelasan tersebut, baja langsung dicelupkan pada cairan pendingin berupa air mineral, *coolant*, dan oli bekas. Macam-macam media pendingin tersebut diharapkan dapat memberikan data dan informasi sehingga didapatkan perbandingan hasil pengelasan dari baja yang telah dilakukan pendinginan pasca pengelasan (Maulana Yassyir, 2016).

Magnetic Particle Inspection (MPI) merupakan salah satu pengujian tidak merusak yang digunakan untuk mendeteksi retakan dan diskontinuitas lain yang berada di permukaan material ferromagnetic, salah satunya yaitu hasil pada pengelasan *steel structure*. *Magnetic Particle Inspection* mempunyai beberapa metode dalam penggunaannya seperti *wet visible*, *dry visible*, dan *wet fluorescent*. Metode MPI ini memiliki kelebihan yaitu dapat menguji material yang luas serta struktur yang kompleks dengan cepat, tidak memerlukan persiapan yang sulit, biaya lebih murah, indikasi yang terjadinya cacat bisa langsung terlihat. Sedangkan kekurangan MPI yaitu pengujian MPI hanya bisa dilakukan pada material yang berbahan ferromagnetik, membutuhkan arus yang besar apabila menguji objek yang besar seperti *steel structure*, dan membutuhkan kemampuan khusus untuk membaca dan menganalisis data (Wahyudin, 2022).

Penetrant Test adalah jenis pengujian tidak merusak atau *non destructive test* (NDT) yang bertujuan memeriksa permukaan material terdapat cacat las atau tidak. Dalam pengujian ini didasarkan dari prinsip kapilaritas, yaitu masuk serta keluarnya cairan penetran ke dalam diskontinuitas dan dari kontinuitas ke permukaan. Prinsip Kerja Uji *Penetrant* adalah cairan penetran yang masuk ke dalam diskontinuitas kemudian akan keluar ke permukaan dengan bantuan *developer* atau cairan pengembang. *Developer* ini harus mempunyai warna yang kontras dengan warna *liquid* penetran agar saat proses pengamatan hasil pengujian dapat dilakukan dengan mudah dan benar.

Berdasarkan dari latar belakang di atas, maka ditemukan masalah yang menjadi titik acuan penulis dalam melakukan penelitian yaitu, media pendingin mana yang paling baik, dan adakah pengaruh media pendingin terhadap hasil pengelasan menggunakan cairan penetran. Berdasarkan pengalaman pribadi penulis, pada saat melakukan pengelasan sering kali kurang memperhatikan bagaimana perubahan sifat mekanis bahan yang terjadi. Oleh karena itu penulis tertarik untuk menyusun laporan tugas akhir yang berjudul “Analisa Cacat Hasil Pengelasan SMAW Pada Baja Karbon ST 41 dengan Media Pendingin”.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penjelasan Diagram Alir:

1. Mulai yaitu permulaan dalam penelitian.
2. Studi Literatur yaitu proses menyelidiki dan menganalisis literatur yang relevan dengan topik atau subjek tertentu. Ini melibatkan penelusuran dan pengumpulan berbagai sumber teks, seperti jurnal ilmiah, artikel, buku, tesis, dan publikasi lainnya yang berkaitan dengan topik yang sedang dipelajari.
3. Penyiapan Alat dan Bahan merupakan langkah penting sebelum memulai suatu eksperimen, proyek, atau tugas tertentu.

4. Pengelasan SMAW yaitu proses pengelasan pada material baja ST 41 dengan elektroda dan ampere yang sudah ditentukan.
5. Pendinginan ada 3 yaitu oli castrol, *coolant* MR. Hans, dan air aqua. Dengan waktu perendaman 10 menit.
6. Pengujian ada 2 yaitu pengujian *Magnetic Particle Inspection* (MPI) dan *penetrant test*.
7. Menentukan apakah hasil pengujian sesuai atau tidaknya dengan menggunakan standar dari masing-masing pengujian.
8. Analisa dan pembahasan yaitu membantu menguraikan dan menjelaskan temuan atau hasil dari studi yang dilakukan.
9. Laporan dan seminar yaitu menyampaikan hasil penelitian atau kegiatan secara rinci dan sistematis kepada penguji dan *audiens*.
10. Selesai yaitu semua kegiatan pada diagram alir sudah rampung.

Penelitian cacat hasil pengelasan SMAW pada baja karbon ST 41 dengan variasi pendingin dilakukan selama enam bulan di laboratorium Jurusan Teknik Mesin di laboratorium Politeknik Negeri Banyuwangi, dalam penelitian ini penulis melaksanakan penelitian terhadap bagaimana pengaruh cacat hasil pengelasan SMAW pada baja karbon ST 41 dengan variasi pendingin menggunakan *Particle Inspection* (MPI) dan *Penetrant Test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Proses Pengelasan SMAW dan Pendinginan

Hasil pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan elektroda E6013 dan variasi arus pada masing-masing spesimen menunjukkan beberapa temuan penting. Spesimen baja ST 41 yang telah disambung melalui proses pengelasan ini kemudian dibentuk menjadi spesimen uji. Penelitian ini melibatkan beberapa tahap, mulai dari pemotongan baja ST 41 dan pembentukan kampuh, pengelasan, pengujian, hingga pengolahan data. Setelah pengelasan selesai, spesimen diuji menggunakan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) dan *Penetrant Test* untuk mendeteksi adanya cacat atau ketidaksempurnaan pada hasil pengelasan. Hasil dari pengujian ini memberikan gambaran mengenai kualitas sambungan las.

Proses Pemotongan Baja ST 41

Proses pemotongan material baja ST 41 dengan *cutting* las dimulai dengan menyiapkan material dan alat yang diperlukan. Pada proses awal yaitu material baja ST 41 diukur dan ditandai sesuai dengan ukuran kampuh V yang diinginkan. Selanjutnya, mesin *cutting* las disetel dengan parameter yang sesuai, termasuk pengaturan arus listrik dan tekanan gas berdasarkan ketebalan material. Operator kemudian mengarahkan *torch cutting* las ke garis pemotongan yang telah ditandai, memastikan sudut pemotongan sesuai untuk mendapatkan potongan yang presisi. Selama proses pemotongan, nyala api dari *torch cutting* las melelehkan baja ST 41 dan tekanan gas menghembuskan material yang meleleh, menghasilkan potongan yang bersih dan akurat. Setelah proses pemotongan selesai, potongan material diperiksa untuk memastikan kualitas dan ketepatan ukuran, serta dibersihkan untuk menghilangkan sisa slag atau oksida pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pemotongan Baja ST41
Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Proses Pendinginan

Proses pendinginan material ST 41 proses tersebut dilakukan setelah proses pengelasan dengan menggunakan tiga jenis media pendingin yaitu: air, *coolant*, dan oli. Proses pertama material yang baru dilakukan proses pengelasan langsung didinginkan di dalam wadah yang sudah berisi air, kemudian direndam sehingga panas dari pengelasan cepat terserap, menghasilkan pendinginan yang cepat dan merata. Proses kedua yaitu proses pendinginan menggunakan *coolant* khusus, dengan merk MR. Hans, cairan pendingin tersebut yang diformulasikan khusus untuk pengelasan. Material yang baru dilakukan proses pengelasan langsung didinginkan di dalam wadah yang sudah berisi *coolant* untuk mengurangi panas lebih *efisien* dan menjaga *integritas* struktural sambungan las. Terakhir, proses pendinginan menggunakan oli seperti *Castrol Active* digunakan sebagai media pendingin dengan cara merendam material pada wadah yang sudah berisi oli *castrol active*. Oli memiliki kapasitas pendinginan yang berbeda dan cenderung memberikan pendinginan yang lebih lambat dan terkontrol, yang dapat mengurangi risiko retak pada material.



A. Air



B. Collant



C. Oli

Gambar 3. Proses Pendinginan A, B, dan C
Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

1. Gambar A menunjukkan pendinginan media air, pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan teknik penting untuk mengontrol suhu dan mencegah *deformasi* pada material yang dilas. Dengan menggunakan air sebagai media pendingin, panas yang dihasilkan selama pengelasan dapat diserap dengan cepat dan merata. Proses ini merendam bagian yang telah dilas dalam air, yang

- efektif dalam menurunkan suhu dengan cepat dan mengurangi *stres termal*. Hal ini membantu mencegah kerusakan yang disebabkan oleh pemanasan berlebihan.
2. Gambar B menunjukkan penggunaan *coolant* sebagai media pendingin dalam proses pengelasan, di mana panas yang dihasilkan dapat diserap dengan cukup lambat. Proses ini mencegah pendinginan yang terlalu cepat dan membantu mengurangi risiko deformasi serta retak pada material. Namun, wadah pendingin media *coolant* pada gambar B mengalami kebocoran akibat penurunan suhu yang cukup lambat. Meskipun demikian, penggunaan *coolant* tetap efektif dalam menjaga material dan meningkatkan kualitas sambungan las dengan memperlambat proses pendinginan secara bertahap.
 3. Gambar C menunjukkan penggunaan oli sebagai media pendingin dalam proses pengelasan. Oli berfungsi untuk menyerap panas yang dihasilkan dengan sangat lambat, memungkinkan proses pendinginan berlangsung secara perlahan. Pendinginan ini membantu mengurangi risiko *deformasi* dan retak pada material, karena suhu dapat turun secara perlahan. Meskipun prosesnya lebih lambat dibandingkan dengan pendinginan cepat, penggunaan oli tetap efektif dalam menjaga struktur material. Dengan demikian, kualitas sambungan las dapat ditingkatkan dengan memperlambat proses pendinginan secara bertahap menggunakan oli sebagai media pendingin.

Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam proses pengelasan SMAW, pemilihan media pendingin seperti air, *coolant*, atau oli sangat penting untuk mengontrol suhu dan mencegah *deformasi* pada material yang dilas. Penggunaan air cenderung memberikan pendinginan cepat yang efektif, yang mengurangi *deformasi* dan retak pada material. Sementara *coolant* dan oli lebih cocok untuk mengatur suhu secara lambat, yang membantu menjaga struktur material.

Hasil pengelasan SMAW

Hasil pengelasan dengan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) menggunakan arus sebesar 95 ampere dan elektroda E6013 menunjukkan variasi kualitas sambungan berdasarkan jenis pendingin yang digunakan, yaitu air, *coolant* MR. Hans, dan oli *Castrol Active*. Berikut hasil pengelasan SMAW.



Gambar 4. Hasil pengelasan A, B, dan C

Pada gambar diatas merupakan hasil pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan arus sebesar 95 ampere dan elektroda E6013, terdapat 3 spesimen uji hasil pengelasan yang sudah melalui proses pendinginan dan siap dilakukan proses pengujian kualitas sambungan pada tahap berikutnya.

Hasil Pengujian

Pengujian *Magnetic Particle Inspection*

Pada pengujian *Magnetic Particle Inspection* ini menggunakan variasi pendinginan yaitu: air, oli dan *coolant*. Hasil dari pengujian ASTM 1444 menggunakan metode *Magnetic Particle Test* dilakukan untuk menunjukkan cacat *porosity*, *undercut*, *underfill*, *crack* dan *slag inclusion* pada hasil pengelasan dengan variasi pendinginan. Metode pengujian *Magnetic Particle Inspection* (MPI) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Pengujian MPI

Variasi Pendinginan	Magnetisasi	Partikel Magnetik	Warna Partikel Magnetik	Arus	Kondisi Permukaan
Air	yoke	kering	hitam	DC/AC	Hasil pengelasan
Coolant	yoke	kering	hitam	DC/AC	Hasil pengelasan
Oli	yoke	kering	hitam	DC/AC	Hasil pengelasan

Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Berdasarkan hasil pengujian *Magnetic Particle Inspection* pada Tabel 2 ditemukan beberapa cacat hasil pengecoran dengan variasi pendinginan yaitu:

Tabel 2. Hasil pengujian *Magnetic Particle Inspection* (MPI)

Variasi Pendinginan	Hasil pengujian
Air	
Coolant	
Oli	

Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan cacat hasil pengelasan menggunakan variasi pendinginan yang dijelaskan dengan area warna kuning (*undercut*) dan warna Merah (*underfill*). Hasil dari pengujian *Magnetic Particle Inspection* menunjukkan bahwa variasi pendinginan menggunakan air mendapatkan cacat hasil pengelasan paling

sedikit, dimana semakin sedikit area cacat yang di temukan pada area hasil pengelasan maka semakin baik pengelasan tersebut.

Pengujian Penetran

Proses pengujian penetran, juga disebut sebagai uji penetrant cair (*Liquid Penetrant Testing*), adalah metode *non-destruktif* yang digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan pada material, seperti retak, pori, atau diskontinuitas lainnya. Proses ini dimulai dengan membersihkan permukaan material yang akan diuji untuk memastikan tidak ada kotoran yang dapat menghalangi penetrant masuk ke dalam cacat. Setelah pembersihan, penetrant cair berwarna terang atau *fluorescent* diaplikasikan pada permukaan material dan dibiarkan meresap ke dalam cacat selama waktu tertentu, yang disebut waktu penyerapan. Setelah waktu penyerapan selesai, kelebihan penetrant dihapus dari permukaan material, biasanya dengan menggunakan kain bersih dan pelarut khusus, tanpa menghilangkan penetrant yang ada di dalam cacat. Selanjutnya, *developer* diaplikasikan pada permukaan material untuk menarik *penetrant* keluar dari cacat ke permukaan, membuatnya terlihat. *Developer* ini biasanya berwarna *kontras* dengan penetrant atau memiliki sifat *fluorescent* yang dapat diamati di bawah sinar *ultraviolet*. Akhirnya, inspeksi visual dilakukan untuk mendeteksi dan mengevaluasi cacat yang muncul, yang terlihat sebagai indikasi pada permukaan material. Hasil inspeksi ini kemudian dianalisis untuk menentukan kualitas dan *integritas* material yang diuji.



Gambar 5. Hasil *Liquid Penetrant Test* pada Pendingin Air
Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Pada Gambar 5 hasil proses inspeksi *liquid penetrant* yang dilakukan pada spesimen dengan media pendingin air menunjukkan adanya berbagai cacat pengelasan, termasuk *undercut*, *underfill*, *spatter*, dan *porosity*. Cacat *undercut* terlihat sebagai lekukan di sepanjang tepi las yang dapat mengurangi kekuatan sambungan. Cacat *underfill* ditemukan di mana material pengisi tidak cukup memenuhi area las, menyebabkan ketidakrataan pada permukaan. *Spatter* ditandai dengan percikan material logam di sekitar area las, yang dapat mempengaruhi tampilan dan integritas sambungan. Terakhir, *porosity* terdeteksi sebagai rongga atau gelembung udara dalam lasan, yang dapat melemahkan struktur dan menyebabkan kerusakan prematur.



Gambar 6. Hasil *Liquid Penetrant Test* pada pendingin coolant
Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Pada Gambar 6 hasil proses inspeksi *liquid penetrant* pada spesimen dengan media pendingin air menunjukkan adanya berbagai cacat pengelasan yang signifikan, yaitu *undercut*, *underfill*, *slag inclusion*, dan *overlap*. Cacat *undercut* tampak sebagai lekukan dalam di sepanjang tepi las yang dapat mengurangi kekuatan sambungan. *Undercut* terlihat sebagai hasil dari pengisian yang tidak memadai, menciptakan permukaan las yang tidak merata dan berpotensi lemah. *Slag inclusion* terdeteksi sebagai inklusi terak yang terperangkap di dalam lasan, yang dapat menyebabkan titik lemah dan meningkatkan risiko kegagalan *struktural*. *Overlap* muncul ketika logam las meluap ke permukaan dasar tanpa meleleh sepenuhnya, menghasilkan area yang rapuh dan rentan terhadap retak. Inspeksi *liquid penetrant* ini sangat penting, memberikan pandangan mendalam tentang kondisi pengelasan.



Gambar 7. Hasil *Liquid Penetrant Test* pada Pendingin Oli
Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Pada Gambar 7 hasil proses inspeksi *liquid penetrant* pada spesimen dengan media pendingin air menunjukkan adanya berbagai cacat pengelasan yang signifikan, yaitu *undercut*, *underfill*, *spatter*, *porosity*, dan *overlap*. Cacat *undercut* tampak sebagai lekukan dalam di sepanjang tepi las yang dapat mengurangi kekuatan sambungan. *Underfill* terlihat sebagai hasil dari pengisian yang tidak memadai, menciptakan permukaan las yang tidak merata dan berpotensi lemah. *Spatter*, berupa percikan logam kecil yang tersebar di sekitar area las, dapat mempengaruhi estetika dan kualitas keseluruhan sambungan. *Porosity* terdeteksi sebagai rongga kecil dalam lasan, berpotensi menjadi titik awal kerusakan dan retakan di masa depan. *Overlap* muncul ketika logam las meluap ke permukaan dasar tanpa meleleh sepenuhnya, menghasilkan area yang rapuh dan rentan terhadap retak. Hasil proses inspeksi *liquid penetrant* diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Cacat Pengelasan

Media pendingin air		
Defect	Remark	Average Lenght/Wide (mm)
Porosity	2	-/2
Underfill	4	6/4
Spatter	5	-/2
Media pendingin coolant		
Defect	Remark	Average Lenght/Wide (mm)
Underfill	3	6/3
Undercut	1	15/6
Slag Inclusion	1	-/2
Overlap	2	7/4
Media pendingin oli		
Defect	Remark	Average Lenght/Wide (mm)
Underfill	2	10/6
Undercut	6	5,3/2,5
Overlap	1	9/6
Spatter	3	-/4,6
Porosity	1	-/2

Sumber: Dokumentasi pribadi (2024)

Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa variasi pendinginan menggunakan air mendapatkan jenis cacat hasil pengelasan paling sedikit, dimana semakin sedikit area cacat yang di temukan pada area hasil pengelasan maka semakin baik pengelasan tersebut.

Salah satu cacat yang terjadi pada 3 (tiga) material tersebut adalah *underfill*, penyebab umumnya adalah ketika logam dasar dan logam pengisi tidak terhubung secara sempurna, sehingga terbentuk celah atau ruang kosong di bagian bawah sambungan las. Jika media pendingin yang digunakan terlalu efektif dalam mendinginkan sambungan las secara cepat, ini dapat mengakibatkan logam pengisi membeku sebelum sempat mengisi seluruh celah atau terbentuknya ruang kosong, menyebabkan *underfill*. Selain itu, penggunaan media pendingin yang tidak sesuai dapat mengubah karakteristik pendinginan secara tidak merata, yang mempengaruhi distribusi lelehan logam pengisi dan akhirnya menghasilkan sambungan las yang tidak sempurna. Oleh karena itu, pemilihan media pendingin yang tepat dan pengaturan yang baik dalam proses pendinginan sangat penting untuk menghindari cacat *underfill* dalam pengelasan.

Untuk mengatasi cacat *underfill* yang disebabkan oleh penggunaan media pendingin yang tidak tepat dalam pengelasan, serta penting untuk memilih media pendingin yang sesuai dengan jenis material yang dilas dan mengatur penggunaannya dengan bijak. Jika media pendingin terlalu efektif dalam mendinginkan, perlu dipertimbangkan untuk mengurangi intensitas atau durasi aplikasinya agar logam pengisi memiliki waktu yang cukup untuk mengisi celah dengan baik sebelum terbentuknya ruang kosong atau kebekuan terlalu dini. Selain itu, perbaikan dalam teknik pengelasan, seperti pengaturan sudut dan posisi elektroda, juga diperlukan untuk memastikan distribusi panas yang merata dan optimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir yang berjudul "Analisa Cacat Hasil Pengelasan SMAW Pada Baja Karbon St 41 Dengan Variasi Pendingin", terdapat beberapa kesimpulan utama yang dapat diambil. Proses hasil pengelasan baja karbon St 41 dengan variasi pendingin telah berhasil dilaksanakan sesuai dengan perencanaan dan spesifikasi teknis yang ditentukan.

1. Hasil dari pengujian menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* mendapatkan cacat hasil pengelasan seperti: *Underfill* dan *Undercut*, sedangkan pada Metode *Penetrant test* mendapatkan hasil cacat hasil pengelasan seperti: *Porosity*, *Underfill*, *Spatter*, *Slag Inclusion*, dan *Overlap*. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan yang didinginkan dengan air memiliki jenis cacat yang lebih sedikit, baik pada permukaan maupun bawah permukaan, dibandingkan dengan pengelasan yang menggunakan *coolant* dan oli sebagai media pendingin.
2. Dari penelitian cacat pengelasan SMAW dengan variasi pendingin air, *coolant*, dan oli yang diuji menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* dan *Penetrant Test* menunjukkan bahwa penggunaan air sebagai media pendingin memberikan hasil terbaik dalam mengurangi cacat pengelasan dibandingkan dengan *coolant* dan oli, Oleh karena itu, air sebagai media pendingin lebih efektif dalam menjaga kualitas pengelasan, menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan lebih sedikit cacat.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi. 2019. Macam Las dan Pengertiannya. www.pengelasan.net.
- American Society for Testing and Materials. 2022. *Article 7 Standard Practice for Magnetic Particle Testing for Aerospace1 [ASTM] International*, 1-11.
- Azwinur, Jannifar, Yudi, & Zulkifli. 2020. Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Hasil Pengelasan Material Aisi 1050 Pada Proses Las Mag. *Jurnal Polimesin*, 18(2), 124-130.
- Bakhori, A. 2021. Analisa Cacat Hasil Pengelasan Pada Baja Karbon Rendah Terhadap Pengaruh Masukan Panas Las. *Semnastek Uisu*, 0-5.
- Djiwo, S., & Setyo Widodo, B. 2023. Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan SMAW Pada Baja St 37. <http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/13476>.
- Engineers, [ASME] American Society of Mechanical. 2011. *Article 6 Liquid Penetrant Examination*. ASME Internasional, c, 1-8. <http://st2014.ir>
- Farid Wahyu Wibowo. 2014. Pengaruh Holding Time Annealing Pada Sambungan SMAW Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EM45. Universitas Negri Semarang, Semarang.
- Mahadi, M., & Salam, D. 2016. Pengaruh Kedalaman Diskontinuitas Sub Surface Terhadap Efektivitas Pendeteksian dengan Metode Particle Test Menggunakan Prod Pada Logam High Magnetic Permeability di Kapal (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Maulana, Y. 2016. Analisis Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan dengan Varias Media Pendingin Menggunakan SMAW.
- Mesin, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Mesin, J. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. 2020. Pengaruh Variasi Media Pendingin dalam Proses PWHT Pengelasan SMAW untuk Material Baja Ss400 Terhadap Nilai Kekerasan dan Kekuatan Tarik Canggih Wahyunanta Novi Sukma Drastiawati Abstrak.
- Nurul Qomari. 2015. Pengaruh Pola Gerakan Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Kekerasan Hasil Las Pada Baja ST60. Jurusan Mesin, Universitas Negeri Malang.
- Nur Marina F. N. 2020. Proses Pengecekan Crack Pada Part Nose Landing Gear Top Attachment N212-200 dengan Metode Magnetic Test Particle PT Merpati Maintenance Facility (MMF).
- Pardede, L. 2016. Analisa Perbandingan Sensitivitas Metode Magnetic Particle Inspection Menggunakan Visible Dry Method, Visible Wet Method, dan Wet Flourescent Terhadap Pendeteksian Panjang Retak Pada Permukaan dan Toe Sambungan Las di Kapal Yang Dilapisi Non Conductive Coating (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Rais, R. 2015. Studi Perbandingan Kecepatan dan Ketelitian Pengujian Magnetic Particle Inspection dan Eddy Current Testing Pada Material Baja Karbon (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Sahlan. 2015. Analisis Cacat Las Incomplete Fusion dan Retak Memanjang Pada Waterwall Tube Boiler PLTU Poiton Unit 1.

Sultoni, Nurida Finahari, dan M. Agus Sahbana. 2019. Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air dan Oli Pada Sambungan Lap Joint Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las SMAW (Dc). Jurnal Proton, 11(1): 35-42.