

# Pembuatan Spesimen Cacat Las *Crack* untuk Pengujian *Magnetic Testing*

Rafil Gunawan Samudera<sup>\*1</sup>, Nur Fitria Pujo Leksonowati<sup>\*2</sup>, dan Sapto Wiratno Satoto<sup>\*3</sup>

\* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam29461, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: [rafilgunawan0903@gmail.com](mailto:rafilgunawan0903@gmail.com)

## Abstrak

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang banyak digunakan di industri, namun sering menimbulkan cacat las seperti retak (*crack*) yang dapat menurunkan kekuatan sambungan. Retak merupakan salah satu cacat paling kritis karena dapat menyebabkan kegagalan struktural. Penelitian ini bertujuan untuk membuat spesimen uji dengan cacat retak buatan yang dapat digunakan dalam pembelajaran metode pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing/NDT*), khususnya *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dengan ketebalan 8 mm yang disambung menggunakan metode *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) dalam posisi 1G. Untuk menghasilkan retak buatan, terdapat 3 (tiga) jenis metode yang digunakan yaitu, metode pertama dilakukan dengan menambahkan tembaga (*copper*) kedalam area pengelasan sehingga saat proses pengelasan mengeras terdapat material berbeda yang dapat menghasilkan retakan (*crack*) pada hasil pengelasan. Metode kedua dilakukan dengan cara melakukan pengelasan dengan menambahkan tembaga (*copper*) pada area pengelasan dan kemudian spesimen didinginkan secara instan menggunakan air es dengan suhu 5 °C (lima derajat *celcius*) segera setelah proses pengelasan selesai sehingga dapat terjadi *crack*, yaitu retakan yang muncul setelah logam membeku, akibat adanya tegangan sisa dan hidrogen terperangkap dalam logam las. Metode ketiga, dilakukan dengan menambahkan tembaga pada area las, kemudian spesimen didinginkan dalam air bersuhu normal ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$ ). Pendinginan alami ini bertujuan menciptakan kondisi intermediate antara metode pertama dan kedua, untuk mengamati potensi terbentuknya retakan tanpa perlakuan termal ekstrem. Spesimen kemudian diuji dengan pengujian MPI menggunakan *white kontras*, *black magnetic ink*, dan *yoke*. Hasil pengujian menunjukkan adanya retakan pada permukaan las yang dapat dideteksi dengan jelas menggunakan metode MPI. Penelitian ini membuktikan bahwa pembuatan cacat las buatan menggunakan metode penambahan material tembaga (*copper*) dan dengan melakukan pendinginan cepat dapat efektif digunakan dalam simulasi pengujian NDT untuk keperluan pendidikan dan pelatihan.

**Kata kunci:** *Retak, Magnetic Particle Inspection (MPI), FCAW, ASTM A36.*

## Abstract

*Welding is a metal joining process that is widely used in industry, but it often causes welding defects such as cracks that can reduce the strength of the joint. Cracks are one of the most critical defects because they can cause structural failure. This study aims to create test specimens with artificial crack defects that can be used in learning non-destructive testing (NDT) methods, especially Magnetic Particle Inspection (MPI). The material used is ASTM A36 steel with a thickness of 8 mm which is spliced using the Flux Cored Arc Welding (FCAW) method in the 1G position. To produce artificial cracks, there are 3 (three) types of methods used, namely, the first method is done by adding copper (copper) to the welding area so that when the welding process hardens there are different materials that can produce cracks (cracks) in the welding results. The second method is carried out by welding by adding copper to the welding area and then the specimen is cooled instantly using ice water with a temperature of 5° C (five degrees Celsius) immediately after the welding process is completed so that cold cracking can occur, which is a crack that occurs after the metal is frozen, due to residual stress and hydrogen trapped in the welded metal. The third method is carried out by adding copper to the weld area, then the specimen is cooled in water at normal temperature ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$ ). This natural cooling aims to create intermediate conditions between the first and second methods, to observe the potential for crack formation without extreme thermal treatment. The specimen was then tested with MPI testing using white kontras, black magnetic ink, and yoke. The test results show the presence of cracks in the weld surface that can be clearly detected using the MPI method. This study proves that the manufacture of artificial welding defects using the method of adding copper material (copper) and by performing rapid cooling can be effectively used in NDT testing simulations for education and training purposes.*

**Keywords :** *Crack, Magnetic Particle Inspection (MPI), FCAW, ASTM A36.*

## 1 Pendahuluan

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua logam yang terpisah dengan memanfaatkan energi panas tertentu yang akan menjadi sambungan yang kokoh. Permukaan logam tersebut akan disambungkan dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi, dengan atau tanpa logam penambah, sehingga menghasilkan suatu produk pengelasan. Proses ini banyak digunakan di berbagai industri, seperti konstruksi, perkapalan, manufaktur, dan otomotif, karena mampu menciptakan sambungan permanen yang kuat dan efisien. Meskipun demikian, proses pengelasan juga memiliki risiko timbulnya cacat, seperti porositas, incomplete fusion, dan retakan, yang dapat memengaruhi kekuatan dan kualitas sambungan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas dan inspeksi pasca-pengelasan menjadi langkah penting untuk memastikan hasil pengelasan memenuhi standar yang ditetapkan. [1].

Pada hasil proses pengelasan sering kali muncul berbagai permasalahan yang tidak diinginkan dan sering terjadi akibat human eror, bahan dan alat yang digunakan. Ketidak sempurnaan atau cacat las dalam proses penyambungan pengelasan terdapat banyak jenis dan salah satunya retak (*crack*). Cacat las retak (*crack*) merupakan cacat las yang sangat dihindari dalam proses pengelasan karena akan berdampak terjadinya patahan yang menyebabkan kerugian yang besar [2].

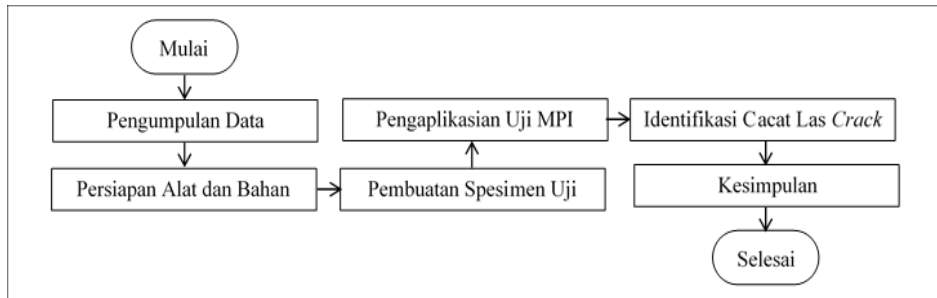
Untuk mengetahui cacat las retak (*crack*) pada hasil pengelasan dibutuhkan pengujian lebih lanjut yaitu pengujian tidak merusak (NDT) atau *Non-Destructive Test*. *Non-Destructive Test* (NDT) adalah suatu aktivitas pengujian terhadap benda uji untuk mengetahui adanya indikasi cacat las tanpa merusak benda uji. Pengujian tanpa merusak ini memiliki berbagai macam metode yaitu *Visual Inspection*, *Penetrant Test*, *Magnetic Particle Inspection*, *Radiographi Test* dan *Ultrasonic Test*. Pengujian NDT yang sesuai untuk mengidentifikasi cacat las crack salah satunya yaitu *Magnetic Particial Inspection* (MPI). *Magnetic Particial Inspection* adalah proses pengujian material atau benda uji dengan memanfaatkan medan magnet dan *chemical* pada proses pengujiannya. Metode MPI bisa digunakan untuk mengetahui cacat yang terdapat pada permukaan benda kerja yang tidak dapat terlihat dengan visual mata manusia [3]. Maka dari itu metode ini akan sangat membantu pada pengujian ini.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan pembuatan sampel spesimen uji dengan cacat las (*crack*) buatan pada material ASTM A36 menggunakan proses *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) dalam posisi pengelasan 1G. Spesimen ini dirancang untuk keperluan pembelajaran dan pelatihan dalam metode pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing/NDT*), khususnya menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Dengan membuat cacat buatan, mahasiswa dapat memahami karakteristik retakan yang mungkin terjadi dalam proses pengelasan serta mempraktikkan teknik deteksi cacat secara akurat. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana edukatif yang mendukung peningkatan kompetensi dalam inspeksi kualitas pengelasan berdasarkan standar yang berlaku di industri.

Penelitian ini dibatasi pada pembuatan cacat las berupa retakan (*crack*) secara buatan menggunakan metode penambahan material tembaga (*copper*) pada proses pengelasan baja ASTM A36 dengan metode FCAW dalam posisi 1G. Tiga metode diterapkan, yaitu penambahan tembaga tanpa pendinginan cepat, dengan pendinginan cepat menggunakan air es bersuhu  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , dan dengan pendinginan alami pada suhu  $\pm 22^{\circ}\text{C}$ . Evaluasi retakan hanya dilakukan secara visual pada panjang sambungan 200 mm menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI), tanpa analisis mikroskopik, pengujian *non-destruktif* lainnya, maupun pengaruh parameter pengelasan terhadap kekuatan mekanik sambungan. Penilaian kualitas lasan dan klasifikasi retakan mengacu pada standar AWS D1.1: *Structural Welding Code – Steel* sebagai acuan penerimaan dan evaluasi cacat.

## 2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen untuk membuat spesimen uji yang mengandung cacat las (*crack*) buatan pada material ASTM A36 dengan ukuran (200 mm  $\times$  100 mm  $\times$  8 mm). Proses pembuatan spesimen dilakukan menggunakan proses pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) dengan posisi pengelasan 1G. Spesimen yang telah dibuat kemudian digunakan sebagai media pembelajaran dalam pengujian *Non-Destructive Test* (NDT), khususnya menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan spesimen uji dengan karakteristik cacat yang sesuai sebagai sarana praktik identifikasi cacat permukaan dalam proses pelatihan atau pembelajaran NDT.



Gambar 1: Diagram alir metode penelitian “Pembuatan Spesimen Cacat Las Crack untuk Pengujian Magnetic Testing”

### 2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan ialah mempersiapkan spesimen yang akan dilakukan pengelasan. Pemilihan sampel berupa material plate ASTM A36 dengan ketebalan 8 mm disambung dengan pelat yang sama dengan metode *single V Groove* menggunakan proses pengelasan *Flux Core Arc Welding (FCAW)* dengan posisi 1G. Spesimen ini akan digunakan sebagai bahan metode pembelajaran *Magnetic Particle Inspection (MPI)*. Proses pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) merupakan pengelasan yang banyak digunakan karena biaya operasi dengan pelindung CO<sub>2</sub> lebih murah dari pada menggunakan gas pelindung lain. [3]

### 2.2 Persiapan Alat dan Bahan

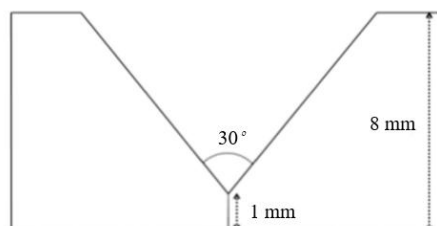
Tabel 1 : Mechanical Properties Tensile dan Chemical Composition

Kategori	Properti	Nilai
Plates, Shapes, and Bars	Tensile Strength (ksi / MPa)	58–80 / 400–550
	Yield Point, min (ksi / MPa)	36 / 250
Plates and Bars	Elongation in 8 in. (200 mm), min (%)	20
	Elongation in 2 in. (50 mm), min (%)	23
Shapes	Elongation in 8 in. (200 mm), min (%)	20
	Elongation in 2 in. (50 mm), min (%)	21
Komposisi		Kandungan (%)
Carbon, max		0.26
Manganese		...
Phosphorus, max		0.04
Sulfur, max		0.05
Silicon, max		0.40
Copper, min (jika baja mengandung tembaga)		0.20

Untuk persiapan alat dan bahan terbagi menjadi dua, yang pertama persiapan alat dan bahan untuk proses pengelasan yang berupa alat pengelasan seperti mesin *travo*, *filler metal* dan gas pelindung karbon dioksida (Co<sub>2</sub>) yang berguna untuk penyambungan dalam proses pengelasan dan juga dibutuhkan alat bantu seperti chipping, sikat kawat, gerinda dan lain sebagainya. Kemudian menggunakan material plate ASTM A36 dengan ketebalan 8 mm sebagai bahan utamanya.

Persiapan alat yang kedua ialah untuk proses pengujian yaitu, senter, penggaris yang akan digunakan saat visual inspeksi. Kemudian alat dan bahan berikutnya ialah *white kontras*, *black magnetic ink*, dan *yoke* sebagai prsoses pengujian MPI.

### 2.3 Pembuatan Spesimen Uji



Gambar 2: Joint Details (sketch)

Dalam penelitian ini, pembuatan cacat las retak (*crack*) dilakukan secara buatan dengan pendekatan eksperimental untuk mendukung pembelajaran metode pengujian tidak merusak (NDT), khususnya *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Tiga spesimen uji dibuat dengan parameter pengelasan yang sama, seperti jenis material, posisi pengelasan, serta jenis dan arus pengelasan, guna memastikan bahwa variabel yang diuji hanya terletak pada metode penciptaan cacatnya. Cacat las yang ditargetkan berupa retakan (*crack*), dihasilkan melalui tiga metode yang berbeda, dengan pendekatan yang dirancang agar cacat muncul secara alami akibat kondisi proses pengelasan yang dimodifikasi.

Tabel 2: Parameter Pengelasan

<b>Jenis Sampel</b>	Jenis Material	ASTM A36
	Dimensi Material	200 mm x 100 mm x 8 mm
	Proses Pengelasan	FCAW
	Posisi Pengelasan	1G
<b>Parameter Pengelasan</b>	Elektrode	E71T-1
	Diameter	1.2 mm
	Polaritas	DCEP
	A (amp)	100–210
	V (volt)	20–28

### 2.3.1 Metode Pertama: Penambahan Tembaga tanpa Pendinginan Cepat



Gambar 3: Penambahan Tembaga pada Spesimen Uji

Metode pertama dalam pembuatan spesimen uji dilakukan dengan menambahkan material tembaga (*copper*) ke dalam area pengelasan. Proses ini bertujuan untuk menciptakan cacat las berupa retak (*crack*) secara buatan. Tembaga memiliki titik lebur lebih rendah (1085 °C) dibandingkan ASTM A36 (1450 °C) sehingga saat proses pengelasan dilakukan (suhu biasanya melebihi 1500 °C di busur las), tembaga akan meleleh lebih dulu, bahkan sebelum logam dasar (ASTM A36) mulai mencair sepenuhnya. Digunakan karena memiliki sifat metalurgi yang berbeda dengan baja ASTM A36 dan tidak dapat menyatu. Ketidaksiharian ini menyebabkan terjadinya gangguan pada struktur sambungan las yang berpotensi menghasilkan retakan (*crack*). Dengan demikian, cacat retak yang dihasilkan dari metode ini diharapkan muncul secara alami akibat reaksi antara dua material berbeda saat proses pendinginan berlangsung.

### 2.3.2 Metode Kedua: Penambahan Tembaga dan Pendinginan Cepat dengan Suhu 5°C



Gambar 4: Penambahan Tembaga dengan Pendinginan Cepat dengan Suhu 5°C

Metode kedua masih menggunakan pendekatan penambahan tembaga ke area pengelasan, namun ditambahkan perlakuan khusus berupa pendinginan cepat (*quenching*) segera setelah proses pengelasan selesai. Setelah logam las membeku, spesimen langsung dicelupkan ke dalam air es dengan suhu sekitar 5°C. Pendinginan mendadak ini menciptakan kondisi ekstrem di mana tegangan sisa yang tinggi terbentuk di dalam logam akibat kontraksi cepat dan perbedaan suhu drastis. Di sisi lain, kandungan hidrogen yang mungkin terperangkap selama proses pengelasan juga berkontribusi terhadap terbentuknya *cold cracking*. Kombinasi antara penambahan tembaga dan pendinginan cepat ini secara efektif meningkatkan potensi terjadinya retakan pada hasil lasan, yang sesuai dengan tujuan penelitian untuk menciptakan cacat retak secara terkendali dan representatif.

Ketika sebuah material didinginkan secara cepat, terjadi perbedaan suhu yang signifikan antara bagian luar dan bagian dalam material, yang menyebabkan kontraksi termal tidak merata. Material seperti logam, kaca, atau keramik akan menyusut ketika suhunya menurun, dan pendinginan cepat membuat permukaan luar menyusut lebih cepat dibandingkan bagian dalam yang masih panas. Perbedaan laju penyusutan ini menimbulkan tegangan internal dalam material. Jika tegangan ini melebihi batas kekuatan tarik material, maka akan terbentuk retakan, terutama pada daerah-daerah yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi. [4]

### 2.3.3 Metode Ketiga: Penambahan Tembaga dan Pendinginan dengan Suhu air Normal ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$ )

Metode ketiga juga menggunakan pendekatan penambahan material tembaga ke area pengelasan, namun tanpa perlakuan pendinginan ekstrem seperti pada metode kedua. Setelah proses pengelasan selesai dan logam membeku, spesimen dicelupkan ke dalam air dengan suhu air normal ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$ ). Pendinginan normal ini menciptakan kondisi termal yang lebih moderat, sehingga tegangan sisa yang terbentuk dalam logam tidak seintens metode pendinginan cepat. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengevaluasi apakah retakan tetap dapat terbentuk tanpa perlakuan termal ekstrem, hanya melalui ketidaksesuaian antara tembaga dan baja sebagai material dasar. Dengan demikian, metode ketiga ini berfungsi sebagai pembandingan untuk menilai pengaruh kecepatan pendinginan terhadap pembentukan cacat retak secara buatan dalam spesimen uji las.

## 2.4 Pengaplikasian Uji MPI

*Magnetic Particle Testing* (MPT) merupakan salah satu metode pengujian tidak merusak yang dapat digunakan untuk mencari diskontinuitas dengan memanfaatkan partikel-partikel magnet yang kemudian akan mendapatkan hasil cacat las dari benda uji. Teknik ini merupakan metode pengetesan terhadap benda material dengan menggunakan yoke magnet untuk memastikan keberadaan celah atau *discontinuity* pada joint benda material. Metode ini digunakan untuk benda material yang berbahan metal saja. Metode ini tergolong memiliki tingkat sensitivitas deteksi cacat yang tinggi. Namun, sebelum penggunaan metode ini, harus dipastikan bahwa alat-alat yang akan digunakan sudah terkalibrasi terlebih dahulu. [5]

### 2.4.1 Pengaplikasian *White Contrast Paint*



Gambar 5: Proses Pengaplikasian *White Contrast Paint*

Dalam pengujian *Magnetic Particle Inspection* (MPI) menggunakan metode partikel basah *non-fluoresen*, *white contrast paint* berperan penting untuk memberikan latar belakang yang cerah sehingga indikasi cacat, seperti retakan, dapat terlihat lebih jelas. Tahapan pertama dimulai dengan membersihkan permukaan pengelasan dari minyak, debu, karat, atau cat yang dapat mengganggu penempelan cat kontras maupun partikel magnetik. Setelah permukaan bersih dan kering, *white contrast* disemprotkan secara merata ke area yang akan diuji dari jarak sekitar 20–30 cm. Aplikasi cat ini harus tipis dan merata, cukup untuk menciptakan kontras tanpa menutupi permukaan secara berlebihan.

## 2.4.2 Pengaplikasian *Black Magnetic Ink*

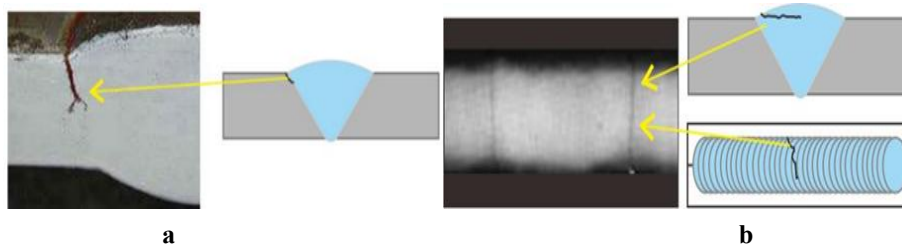


Gambar 6: Proses Pengaplikasian *Black Magnetic Ink*

Dalam metode pengujian *Magnetic Particle Inspection* (MPI) menggunakan partikel basah *non-fluoresen*, *black magnetic ink* digunakan sebagai media partikel magnetik untuk mendeteksi cacat seperti retakan atau diskontinuitas permukaan. Setelah permukaan benda uji dibersihkan dan dilapisi dengan *white contrast paint* yang telah mengering, tahap selanjutnya adalah pengaplikasian *black magnetic ink*. Proses ini dilakukan bersamaan dengan pemberian medan magnet pada area yang diperiksa, biasanya menggunakan alat *yoke magnetik*. *Black magnetic ink*, yang merupakan suspensi partikel *ferromagnetik* berwarna hitam dalam cairan (biasanya berbasis minyak atau air), disemprotkan secara merata ke area uji saat medan magnet sedang aktif. Jika terdapat cacat seperti retakan, maka akan terjadi kebocoran medan magnet (*magnetic flux leakage*) pada area cacat tersebut, dan partikel magnetik dari tinta hitam akan terkumpul di sepanjang garis retakan. Indikasi ini akan tampak jelas karena adanya kontras antara partikel hitam dengan latar belakang putih dari cat kontras.

## 2.5 Identifikasi Cacat Las *Crack*

Cacat las yang akan diidentifikasi dalam penelitian ini adalah cacat las berupa retakan (*crack*), yang merupakan salah satu jenis cacat paling berbahaya karena dapat menyebabkan kegagalan struktural pada sambungan las. Cacat las *crack* terdiri dari beberapa jenis, antara lain *hot crack* yang biasanya terjadi saat logam las sedang dalam proses pendinginan cepat dari suhu tinggi, dan umumnya muncul di area *toe* atau titik awal dan akhir las (*start/stop*). Selain itu, terdapat *cool crack* yang sering terjadi pada *Heat Affected Zone* (HAZ) akibat tegangan sisa dan kandungan hidrogen yang terperangkap. Jenis lainnya seperti *linear crack* dan *transverse crack* biasanya muncul pada permukaan las dan dapat mengarah sejajar atau tegak lurus terhadap arah pengelasan. Dengan mengidentifikasi jenis-jenis retakan ini secara tepat melalui pengujian *non-destruktif*, diharapkan proses kontrol kualitas pada sambungan las dapat dilakukan lebih akurat dan menyeluruh.



Gambar 7: (a) *Cold Crack* yang sering terjadi pada haz, dan (b) *Crack* pada permukaan las

Crack atau retakan biasanya timbul pada logam lasan atau pada *Heat Affected Zone* (HAZ) dari logam induk (*base metal*). Salah satu jenis yang paling umum adalah *cold cracking*, yang dapat ditemukan baik pada HAZ maupun pada logam lasan, tergantung pada jenis baja yang dilas. Salah satu penyebab utama *cold cracking* adalah hidrogen yang terperangkap dalam logam las. Hidrogen ini dapat masuk ke dalam busur lasan dari berbagai sumber, seperti uap air yang menempel pada pelat, kelembaban udara, lapisan cat, atau minyak yang belum dibersihkan dengan baik dari permukaan plat. Selama proses pengelasan, hidrogen sangat mudah larut dalam logam las cair dan tetap berada dalam larutan tersebut saat terjadi pendinginan dan solidifikasi, baik dalam struktur *delta ferrit* maupun *austenit*. Ketika logam mulai mengeras dan mengalami tegangan sisa, keberadaan hidrogen ini dapat memicu terbentuknya retakan dingin (*cold cracking*) yang sangat sulit terdeteksi secara visual namun sangat berbahaya terhadap integritas sambungan las. Oleh karena itu, pemahaman terhadap sumber dan mekanisme pembentukan crack sangat penting dalam proses inspeksi dan pengendalian kualitas pengelasan. [6]

Tabel 3: AWS D1.1: *Structural Welding Code – Steel* [7]

<b>Visual Inspection Acceptance Criteria (see 6.9)</b>			
<b>No</b>	<b>Discontinuity Category and Inspection Criteria</b>	<b>Statically Loaded Nontubular Connections</b>	<b>Cyclically Loaded Nontubular Connections</b>
1	<b>Crack Prohibition</b> Any crack shall be unacceptable, regardless of size or location.	X	X
2	<b>Weld/Base Metal Fusion</b> Complete fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X
3	<b>Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X
4	<b>Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 5.23.	X	X

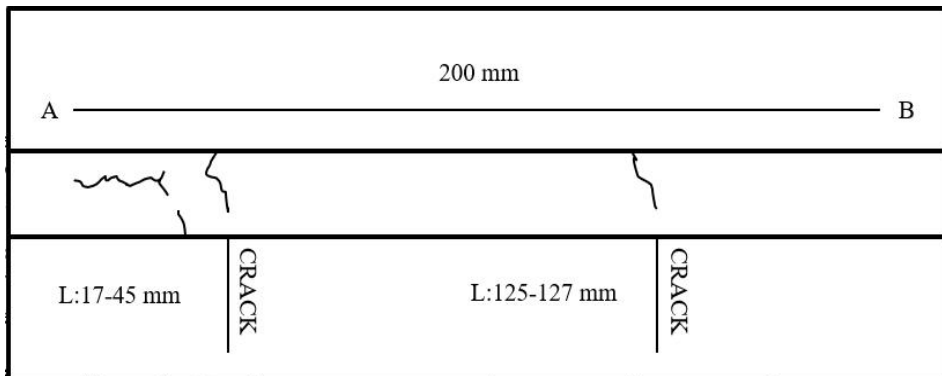
Penelitian ini mengacu pada standar AWS D1.1: *Structural Welding Code – Steel*, khususnya dalam hal identifikasi dan penilaian terhadap cacat las berupa retakan (*crack*). Dalam standar tersebut, retak dikategorikan sebagai diskontinuitas paling kritis dan tidak dapat diterima dalam kondisi apa pun, terlepas dari ukuran maupun lokasinya, pada poin nomor 1 standar tersebut menyatakan bahwa "*Any cracks shall be unacceptable, regardless of size or location.*" Oleh karena itu, retak menjadi fokus utama dalam proses pemeriksaan kualitas sambungan las, baik melalui metode pengujian visual maupun pengujian tidak merusak (NDT) seperti *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk menciptakan spesimen uji dengan cacat retak buatan yang dapat digunakan sebagai sarana pelatihan dan pembelajaran dalam mengidentifikasi cacat las sesuai dengan kriteria penerimaan yang telah ditetapkan oleh standar AWS D1.1.

### 3 Analisa Data dan Pembahasan

#### 3.1 Spesimen Pertama



a



b

Gambar 8: (a) Hasil Pengujian MPI Spesimen Pertama, dan (b) Hasil Tracing Spesimen Pertama

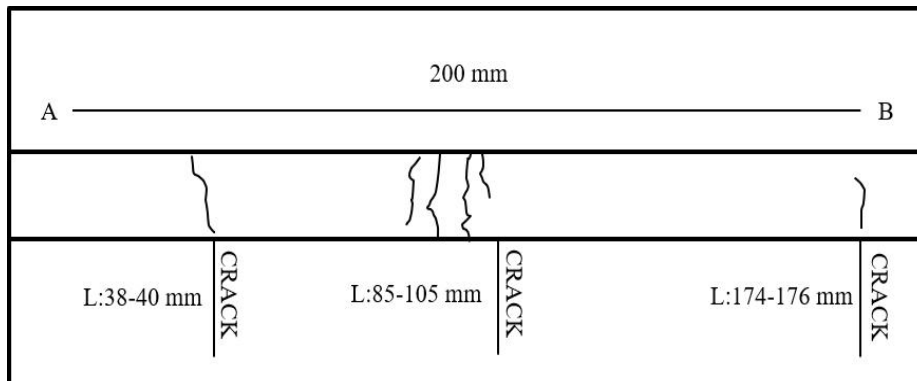
Pengujian pada spesimen uji hasil pengelasan dengan metode penambahan material tembaga (*copper*) menunjukkan adanya diskontinuitas berupa retakan (*crack*) yang terdeteksi pada dua titik berbeda sepanjang sambungan las 200 mm. Retakan pertama ditemukan pada posisi 17–45 mm dari datum A, sedangkan retakan kedua berada pada posisi 125–127 mm dari datum A. Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap pola dan letak retakan, jenis cacat ini dikategorikan sebagai retakan permukaan (*longitudinal crack*) dengan karakteristik memanjang dan tidak beraturan.

Retakan ini diduga muncul akibat ketidaksesuaian antara logam tembaga dan logam dasar (ASTM A36) selama proses solidifikasi las. Tembaga yang tidak menyatu dengan sempurna menyebabkan zona lemah atau *lack of fusion*, yang menjadi titik awal terbentuknya crack saat logam mulai mengeras. Karena metode pendinginan cepat tidak digunakan, maka *crack* yang terjadi termasuk dalam kategori *hot cracking*, yang muncul selama fase pendinginan pada temperatur tinggi. Berdasarkan kriteria evaluasi visual, retakan tersebut termasuk dalam jenis cacat kritis dan tidak memenuhi kriteria penerimaan untuk sambungan las, sehingga perlu dilakukan perbaikan.

### 3.2 Spesimen Kedua



a



b

Gambar 9: (a) Hasil Pengujian MPI Spesimen Kedua, dan (b) Hasil Tracing Spesimen Kedua

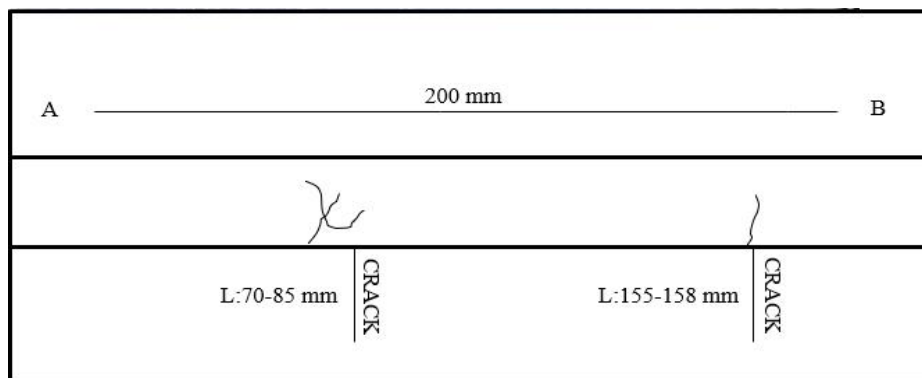
Pengujian pada spesimen uji hasil pengelasan dengan metode penambahan material tembaga (*copper*) dan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan air es bersuhu 5°C menunjukkan adanya diskontinuitas berupa retakan (*crack*) di beberapa titik sepanjang sambungan las. Retakan pertama ditemukan pada posisi 38–40 mm dari datum A, retakan kedua berada pada posisi 85–105 mm dari datum A, dan retakan ketiga muncul di posisi 174–176 mm dari datum A. Ketiga retakan tersebut tergolong sebagai retakan permukaan (*longitudinal cracks*) dengan bentuk memanjang, tajam, dan sebagian besar bersifat tidak beraturan.

Kemunculan retakan ini disebabkan oleh kombinasi dua faktor utama, yaitu ketidaksesuaian antara tembaga dan logam dasar serta tegangan sisa tinggi akibat pendinginan cepat. Tembaga yang dimasukkan ke area kampuh las tidak larut sempurna dengan baja ASTM A36, menciptakan zona lemah (*lack of fusion*). Setelah proses pengelasan selesai, pendinginan cepat menggunakan air es menyebabkan logam mengerut secara instan dan menimbulkan tegangan tarik yang signifikan. Hal tersebut mendukung terjadinya *crack*. Berdasarkan posisi dan bentuknya, cacat ini termasuk dalam kategori cacat kritis dan tidak memenuhi kriteria penerimaan.

### 3.3 Spesimen Ketiga



a



b

Gambar 10: (a) Hasil Pengujian MPI Spesimen Ketiga, dan (b) Hasil Tracing Spesimen Ketiga

Pengujian pada spesimen uji hasil pengelasan dengan metode penambahan material tembaga (*copper*) dan pendinginan pada suhu normal ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$ ) menunjukkan adanya diskontinuitas berupa retakan (*crack*) yang terdeteksi pada dua titik berbeda sepanjang sambungan las 200 mm. Retakan pertama ditemukan pada posisi 70–85 mm dari datum A, sedangkan retakan kedua berada pada posisi 155–158 mm dari datum A. Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap pola dan letak retakan, jenis cacat ini dikategorikan sebagai retakan permukaan (*longitudinal crack*) dengan bentuk memanjang dan tidak beraturan.

Retakan ini diduga muncul akibat ketidaksesuaian antara logam tembaga dan logam dasar (ASTM A36) selama proses solidifikasi las. Tembaga yang tidak menyatu sempurna menyebabkan terbentuknya zona lemah (*lack of fusion*), yang memicu retakan saat logam mulai mengeras. Karena pendinginan dilakukan pada suhu normal tanpa perlakuan termal ekstrem, *crack* yang terbentuk diduga termasuk dalam kategori hot cracking yang terjadi selama fase pendinginan alami. Berdasarkan evaluasi visual, retakan tersebut termasuk cacat kritis dan tidak memenuhi kriteria penerimaan sambungan las, sehingga memerlukan perbaikan.

## 4 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk membuat spesimen uji dengan cacat las (*crack*) buatan pada material ASTM A36 menggunakan proses pengelasan FCAW dengan posisi 1G, yang digunakan sebagai media pembelajaran pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Testing/NDT*) khususnya dengan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Berdasarkan hasil pengelasan dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa metode penambahan material tembaga (*copper*), dengan tanpa menggunakan metode pendinginan cepat, menggunakan metode pendinginan cepat, dan menggunakan metode pendinginan suhu normal, berhasil menghasilkan cacat las berupa retakan (*crack*) pada permukaan las.

Retakan yang terbentuk terdeteksi jelas menggunakan metode MPI, menunjukkan bahwa spesimen uji ini layak digunakan sebagai bahan simulasi dan pelatihan dalam praktik NDT. Pada metode pertama yaitu dengan menambahkan bahan tembaga (*copper*) dan tanpa pendinginan cepat, retakan terbentuk akibat ketidaksesuaian logam dan zona lemah pada kampuh las. Pada metode kedua dengan menambahkan bahan

tembaga (*copper*) dan melakukan pendinginan cepat, retakan lebih dominan terjadi akibat kombinasi zona lemah dan tegangan tarik tinggi setelah proses *quenching*, yang memicu terjadinya *crack*. Sedangkan Pada metode ketiga, yaitu dengan menambahkan bahan tembaga (*copper*) dan menggunakan pendinginan pada suhu normal ( $\pm 22^{\circ}\text{C}$ ), retakan terbentuk akibat ketidaksesuaian logam yang memicu terbentuknya zona lemah pada kampuh las, serta proses pendinginan alami yang memicu terjadinya *hot cracking* selama fase solidifikasi logam. Dengan demikian, pembuatan cacat buatan melalui pendekatan ini terbukti efektif untuk mendukung kebutuhan pembelajaran dan pelatihan teknik inspeksi menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI).

## 6 Daftar Pustaka

- [1] Azwinur, Saifudin A. Jalil, Asmaul Husna, Jurnal Polimesin, (ISSN : 1693-5462), Volume 15, Nomor 2, Agustus 2017, “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Pada Proses Pengelasan SMAW”, Politeknik Negeri Lhoksumasue.
- [2] Firdaus Sulaiman, A. Jannifar, Bukhari, *Journal of Welding Technology*, Volume 2, No. 1, June 2020, “Analisa Cacat Pengelasan SMAW Pada Material ST45 Menggunakan Uji Particle *Magnetic* dan *Ultrasonic Test*”, Politeknik Negeri Lhoksumasue.
- [3] Leonardo Pardede, Wing Hendropraseptyo Akbar Putra, S.T., M.Eng, Jurnal Sains dan Seni, ITS, Vol 4, No. 1, (2015), “Analisa Perbandingan Sensitivitas Metode *Magnetig Particle Inspection* (MPI) Menggunakan Metode *Visible Dry*, *Visible Wet*, dan *Wet Fluorescent* Terhadap Pendeteksian Panjang Retak Pada Permukaan dan Toe Sambungan Las di Kapal yang Dilapisi *Nonconductive Coating*”.
- [4] M. Ichsan Rosidin Yuniarto, Herman Pratikno, dan Dirta Marina Chamelia, Jurnal Teknik ITS, Vol.8, No. 2, (2019) “Analisis Pengaruh Variasi *Heat Input* Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BKI *Grade A* Terhadap Sifat Mekanik”.
- [5] Ferry Setiawan, JMEMME, Vol. 6 (01) Juni (2022), “Pengaruh Variasi waktu Proses *Hot Dipping Alumunizing Coating Stainless Steel 304* Terhadap Karakteristik Material dan Konduktivitas Termal”.
- [6] Kemal Arthur Uktolseja, Margono Sugeng, BINA TEKNIKA, Volume 13 Nomor 1, Edisi Juni 2017, 81-93, “ANALISIS KERUSAKAN SAMBUNGAN LASAN PADA SISTEM *VENTING PRE-AIR COOLER* DI LINGKUNGAN EKSPLORASI DAN PRODUKSI GAS ALAM”.
- [7] AWS D1.1, 2020 Edition. *Structural Welding Code – Steel*.