



Analisa Pengaruh Variasi *Voltage* dan Perbedaan Kawat Las GMAW terhadap Cacat Las pada Sambungan *Fillet T Joint* menggunakan *Visual Test* dan *Penetrant Test*

Lintang Firdaus Romadhoni¹, Fica Aida Nadhifatul Aini²

¹⁻²Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141.

Korespondensi penulis: lintangfirdaus33@gmail.com

Abstrack. The welding process is a crucial element in the fabrication and manufacturing industries, serving to join two or more components into a single unit. The quality of the weld is very important, but defects such as undercut, underfill, and spatter are often still found. This study aims to analyse welding defects caused by voltage variations and differences in welding wire on T-joint fillet welds using the Gas Metal Arc Welding (GMAW) method on 8 mm thick plates. The voltage variations used were 20.6 V, 23.7 V, and 27.9 V, with welding wires EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si and EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu. The research method used visual inspection and penetrant testing to identify types of welding defects. The research results showed four types of welding defects from visual inspection: spatter, undercut, weld deposit thickness, and excessive throat thickness, and two from penetrant testing: undercut and end creater pipe. Based on the two tests conducted in this study, it can be concluded that the optimal welding results were achieved at a voltage variation of 23.7 V using the EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu, as it had the fewest welding defects. The worst welding results were obtained at a voltage variation of 20.6 V using both types of welding wire, as this welding process resulted in numerous welding defects in both visual and penetrant testing. This study provides insights that proper welding parameter settings significantly influence the quality of the welded joint.

Keywords: Penetrant test, GMAW welding, Welding wire defferences, Voltage variation, Visual test.

Abstrak. Proses pengelasan merupakan elemen krusial dalam industri fabrikasi dan manufaktur yang berfungsi untuk menyambungkan dua atau lebih komponen menjadi satu kesatuan. Kualitas hasil las sangat penting, namun sering kali masih terdapat cacat las seperti *undercut*, *underfill*, dan *spatter*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis cacat las yang di sebabkan oleh variasi *voltage* dan perbedaan kawat las pada sambungan *fillet T joint* menggunakan metode pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) pada plat dengan ketebalan 8 mm. Variasi *voltage* yang digunakan adalah 20.6 V, 23.7 V, dan 27.9 V, dengan kawat las EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu. Metode penelitian menggunakan pengujian *visual* dan *penetrant test* untuk mengidentifikasi jenis cacat las. Hasil penelitian menunjukkan empat jenis cacat las dari pengujian *visual* yakni *spatter*, *undercut*, *weld deposit thicknes*, *Excessive Troat Thicknes* dan dua dari pengujian *penetrant* yakni *undercut* dan *end creater pipe*. Maka dari kedua pengujian yang di lakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan hasil pengelasan yang optimum yakni pada pengelasan variasi *voltage* 23.7 V dengan menggunakan jenis kawat las las EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu karena paling sedikit ditemukan cacat las, dan untuk hasil pengelasan terburuk yakni pada variasi *voltage* 20.6 V dengan menggunakan kedua jenis kawat las karena pada hasil pengelasan ini ditemukan banyak cacat las baik pada pengujian *visual* maupun pengujian *penetrant*. Penelitian ini memberikan wawasan bahwa penyetingan parameter pengelasan yang tepat akan berpengaruh terhadap kualitas sambungan las.

Kata kunci: *Penetrant test*, Pengelasan GMAW, Perbedaan kawat las, Variasi *voltage*, *Visual test*.

1. LATAR BELAKANG

Pengelasan merupakan proses penting dalam bidang fabrikasi dan manufaktur yang digunakan untuk menggabungkan beberapa bagian logam menjadi satu kesatuan yang kokoh dan awet. Teknik pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) salah satu

metode pengelasan yang paling sering diterapkan di dunia industri. Pengelasan GMAW menggunakan kawat las sebagai elektroda dan juga melibatkan penggunaan gas pelindung untuk mencegah kontaminasi dari udara atmosfer masuk ke dalam hasil las. Elektroda yang juga berfungsi sebagai logam pengisi, akan mencair bersamaan dengan logam induk selama proses pengelasan. Setelah logam cair tersebut mengalami pendinginan, kedua bahan tersebut akan menyatu membentuk sambungan yang kuat dan permanen, yang disebut dengan logam las atau *weld metal* (Saragih & Silaen, 2023). Dalam proses pengelasan, sumber panas yang digunakan untuk melelehkan logam dapat berasal dari berbagai bentuk energi, seperti energi listrik, pembakaran gas, pancaran elektron, gesekan mekanis, gelombang ultrasonik, maupun sumber energi lainnya (Sugiarto, 2012). Sehingga pada proses pengelasan memerlukan pengaturan parameter yang tepat, termasuk arus, *voltage* pengelasan, untuk mencapai hasil las yang optimal.

Voltage adalah salah satu parameter kunci dalam pengelasan, yang mempengaruhi penetrasi dan kecepatan leleh logam. Tegangan listrik yang digunakan dalam proses pengelasan harus diatur dengan tepat, karena jika terlalu rendah dapat menyebabkan logam tidak meleleh secara sempurna, sedangkan tegangan yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan cacat pada hasil las seperti *undercut*.

Penelitian yang dilakukan oleh Hasan, Nely, dan Kosjoko (2022) mengungkapkan bahwa proses pengelasan pada baja ST 60 dengan tegangan 27 V memberikan hasil sambungan yang lebih optimal dibandingkan saat menggunakan tegangan 26 V atau 28 V. Penelitian ini menyimpulkan pentingnya pemilihan parameter pengelasan yang sesuai guna memperoleh kualitas lasan yang maksimal.

Kemudian Julianto, Adhes, Ida, dan Mohamad (2023) melakukan penelitian dengan mengevaluasi dampak dari pengaturan tegangan listrik terhadap kekuatan tarik sambungan las menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) pada material pipa STKM 13B dan pelat SPH 440. Dengan arus tetap sebesar 110 ampere dan variasi tegangan 18, 20, serta 22 volt, diperoleh hasil bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka kekuatan tarik sambungan las pun meningkat. Voltase 20 *volt* memberikan hasil terbaik, dengan foto mikro menunjukkan minimnya. Penelitian ini menekankan pentingnya pengaturan voltase yang tepat untuk meningkatkan kualitas sambungan las.

Dalam konteks ini, tujuan penelitian ini yakni untuk menganalisis pengaruh variasi *voltage* dan perbedaan kawat las terhadap cacat las pada sambungan *fillet T joint* menggunakan metode GMAW. Penelitian ini akan menggunakan pengujian *visual* dan

penetrant test sesuai dengan standar ISO untuk mengidentifikasi dan menganalisis cacat las yang terjadi masuk kriteria diterima atau di tolak. Tujuan dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang mendalam tentang penyetingan parameter pengelasan yang paling efektif serta berkontribusi dalam peningkatan mutu sambungan las di dunia manufaktur.

2. Tinjauan Pustaka

Pengelasan

Proses pengelasan merupakan teknik penyambungan dua bagian logam dengan cara melelehkan sebagian logam induk dan juga logam pengisi, sehingga terbentuk ikatan logam yang bersifat permanen dan menyatu. Proses ini memanfaatkan energi panas untuk mencairkan logam, di mana sumber panas tersebut bisa berasal dari listrik, pembakaran gas, sinar elektron, gesekan, gelombang ultrasonik, maupun sumber energi lainnya (Sugiarto, 2012).

Pada dasarnya, pengelasan bertujuan untuk menggabungkan dua atau lebih logam secara permanen dengan cara memanaskannya hingga mencapai titik leleh. Proses ini dapat dilakukan dengan atau tanpa tekanan, serta bisa menggunakan atau tidak menggunakan bahan tambahan berupa elektroda. Pengelasan memiliki peran yang krusial dalam industri karena dapat digunakan untuk membuat struktur logam yang kompleks, kuat, dan tahan lama. Proses pengelasan juga banyak di aplikasikan pada Industri berat, seperti industri transportasi otomotif, kontruksi bangunan dan juga pada industri perkapalan. Hasil produk kontruksi sangat bergantung pada teknik pengelasan untuk memastikan kekuatan dan keandalan produk mereka. Teknik penyambungan ini banyak digunakan untuk menyatukan struktur utama dalam berbagai model transportasi, seperti rangka mobil, rangka kereta, rangka tram, dan lambung kapal. Pengelasan dalam industri transportasi memiliki peran esensial dalam menciptakan struktur yang mampu menahan beban, tahan terhadap guncangan, dan memiliki daya tahan jangka panjang.

Jenis-jenis Metode Pengelasan (CSN EN ISO 4063)

- 111-Metode pengelasan *manual metal arc welding*.
- 114- Metode pengelasan *self-shielded tubular-cored arc welding*.
- 121- Metode pengelasan *submerged arc welding with one wire electrode*.
- 131- Metode pengelasan *metal inert gas welding (MIG welding)*.
- 135- Metode pengelasan *metal active gas welding (MAG welding)*.
- 136- Metode pengelasan *tubular cored metal arc welding with active gas shield*.

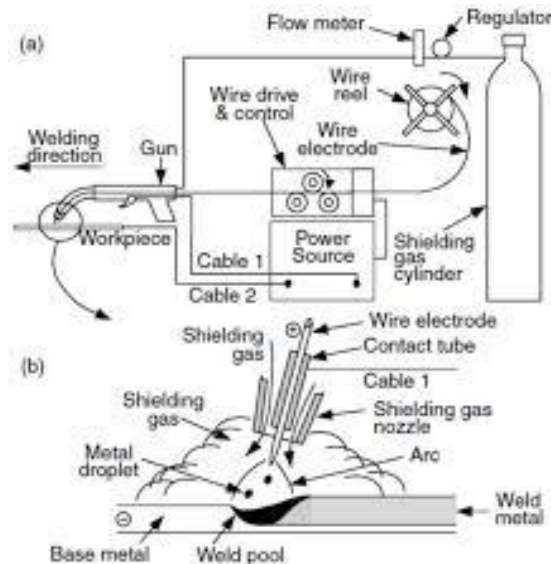
- 138- Metode pengelasan *tubular cored metal arc welding with metal powder*.
- 141- Metode pengelasan *tungsten inert gas arc welding (TIG welding)*.
- 142- Metode pengelasan *tungsten arc welding without filler*.

Metode Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Metode pengelasan GMAW juga salah satu metode penyambungan logam yang menggunakan gas pelindung selama proses pengelasan. Gas pelindung ini berperan penting dalam melindungi logam cair dari pengaruh udara sekitar agar tidak terjadi kontaminasi udara terhadap cairan las selama proses penyambungan berlangsung (Purkuncoro & Aladin, 2019) Pada gambar 1 (a) menunjukkan bagaimana sistem kerja pengelasan GMAW yang menggunakan GAS pelindung untuk mencegah terjadinya cacat las *porosity* akibat udara luar yang masuk ke dalam cairan lasan. Pada gambar tersebut juga menunjukkan sistem kerja penggerak kawat yang berfungsi sebagai penyuplai bahan tambah ketika melakukan pengelasan. Kemudian bagian (b) merupakan perbesaran daerah pengelasan pada gambar tersebut menunjukkan proses pencairan antara logam induk dengan bahan tambah dan hasil pencairan tersebut menciptakan sambungan logam yang *kontinyu*.

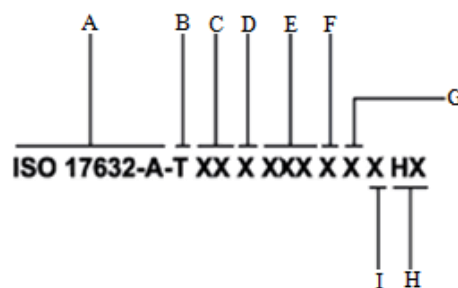
Dalam proses pengelasan GMAW, terdapat dua jenis yaitu *Metal Inert Gas* (MIG) dan *Metal Active Gas* (MAG). Perbedaan utama di antara keduanya terletak pada jenis gas pelindung yang digunakan. Gas pelindung ini berperan penting untuk mencegah terjadinya kontak antara udara atmosfer dan logam cair selama pengelasan, karena jika udara masuk, dapat menimbulkan cacat berupa porositas pada sambungan las.

- *Metal Active Gas* (MAG) menggunakan gas pelindung CO₂ atau argon sebagai campuran. Ketika pengelasan MAG menggunakan gas campuran antara argon dan CO₂ maka hasil lasan menjadi lebih halus.
- *Metal Inert Gas* (MIG) merupakan proses pengelasan yang juga dikenal sebagai pengelasan dengan gas pelindung yang bersifat tidak reaktif. Jenis gas yang digunakan dalam proses ini adalah gas argon dan helium. Gas argon sangat cocok untuk mengelas logam tipis. Secara umum, teknologi pengelasan MIG banyak diterapkan untuk material seperti baja tahan karat (*stainless steel*) dan aluminium.



Gambar 1 (a) sistem kerja las GMAW, (b) Area las yang diperbesar (Asngali, 2011)

Dalam pengelasan GMAW untuk bahan pengisi lasan berupa gulungan kawat yang disebut elektroda. Kawat pengelasan juga memiliki banyak jenis tergantung unsur kandungan dan kekuatan tarik dari kawat tersebut. Penggunaan jenis kawat juga disesuaikan dengan konstruksi yang akan dibuat. Kawat las yang digunakan pada proses pengelasan tentunya memiliki kode kawat las dimana kode tersebut memberikan informasi mengenai kandungan unsur dari kawat tersebut dan juga memberikan kekuatan tarik dan luluh dari kawat tersebut, maka dibawah ini akan dijelaskan tentang pembacaan kode kawat las menurut standar (ISO 17632:2015).



Gambar 2 Kode Kawat Las (ISO 17632:2015).

Dibawah ini akan dijelaskan mengenai keterangan dari kode kawat las GMAW menurut standar (ISO 17632:2015).

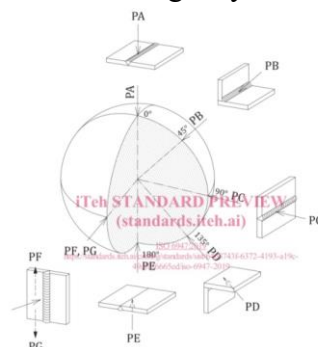
- A. Nomor spesifikasi ISO. "A" pada posisi akhir menunjukkan klasifikasi berdasarkan kekuatan luluh dan persyaratan impak 47 J (ISO 17632:2015).
- B. Menunjukkan elektroda berinti tabung (ISO 17632:2015).
- C. Simbol kekuatan luluh. Untuk elektroda yang digunakan dalam proses pengelasan dengan beberapa lapisan (*multi-run*), digunakan kode "35, 38, 42, 46 atau 50" yang

menunjukkan nilai kekuatan luluh minimum masing-masing sebesar 355 MPa, 380 MPa, 420 MPa, 460 MPa, dan 500 MPa. Sementara itu, untuk elektroda yang diperuntukkan bagi pengelasan satu kali (*single-run*), digunakan simbol "3T, 4T, atau 5T" yang menandakan bahwa elektroda tersebut telah memenuhi syarat uji tarik minimum pada logam induk dengan kekuatan luluh minimum masing-masing sebesar 355 MPa, 420 MPa, atau 500 Mpa.(ISO 17632:2015).

- D. Penanda energi impak *Charpy V-Notch*. Menunjukkan suhu dalam °C pada atau di atas suhu tersebut, kekuatan impak logam las mencapai atau melebihi 47 J. Huruf "A" digunakan untuk menunjukkan suhu uji +20 °C. Huruf "Z" menunjukkan bahwa tidak ada persyaratan impak (ISO 17632:2015).
- E. Penanda komposisi kimia. Menunjukkan komposisi logam las (ISO 17632:2015) .
- F. Kode jenis inti elektroda. Huruf-huruf seperti "R, P, B, M, V, W, Y, dan Z" digunakan sebagai simbol untuk menunjukkan karakteristik inti elektroda, seperti elektroda dengan jenis rutil, terak beku lambat, terak beku cepat, jenis basa, elektroda berbahan logam (*metal-cored*), kombinasi rutil atau basa/fluorida, serta terak beku lambat atau cepat yang mengandung fluorida, maupun jenis lainnya. (ISO 17632:2015).
- G. Penanda gas pelindung (ISO 17632:2015).
- H. Penanda tambahan untuk kandungan hidrogen yang dapat berdifusi. Simbol "H5, H10, atau H15" merupakan kode opsional yang menunjukkan batas maksimum hidrogen difusibel dalam logam las yang terbentuk, masing-masing sebesar 5 ml, 10 ml, atau 15 ml per 100 gram logam las. (ISO 17632:2015).
- I. Penanda posisi. Simbol "1, 2, 3, 4 atau 5" menunjukkan posisi pengelasan yang sesuai untuk elektroda (ISO 17632:2015).

Posisi Pengelasan

Pada gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan posisi pengelasan menurut (ISO 6947:2019) dan juga akan dijelaskan keterangannya:



Gambar 2. 3 Posisi Pengelasan (ISO 6947:2019)

PA-*flat position*.

PB-*horizontal vertical position*.

PC-*horizontal position*.

PD-*horizontal overhead position*.

PE-*overhead position*.

PF-*vertical position (welding upwards)*.

PG-*vertical position (welding downwards)*.

Cacat Las

Cacat pada hasil pengelasan merupakan kondisi yang menyebabkan penurunan mutu sambungan las. Cacat tersebut dapat berdampak pada berkurangnya kekuatan dari sambungan yang dihasilkan, sehingga tidak memenuhi standar konstruksi yang diinginkan.

Menurut Yunianto (2023), cacat las adalah suatu bentuk ketidaksempurnaan atau kerusakan yang terjadi baik pada permukaan maupun bagian dalam lasan, yang berdampak negatif terhadap kualitas sambungan (Yunianto, 2023). Akibatnya, kekuatan sambungan pun mengalami penurunan. Kemunculan cacat las ini menunjukkan bahwa hasil pengelasan tidak sesuai dengan kriteria penerimaan yang telah ditentukan dalam standar yang berlaku. Pada penelitian ini kriteria penerimaan mengacu atau berpedoman pada standar ISO 5817:2023.

Pengujian Cacat Las NDT (*Non Destructive Test*)

Pengujian *Non Destructive Test* merupakan pengujian yang dilakukan pada suatu material uji tanpa merusak material yang diuji. Ketidaksempurnaan/ cacat dikutip berdasarkan dimensi aktualnya, dan pendeteksian serta evaluasinya dapat menggunakan satu atau beberapa metode pengujian *non-destruktif*. Pendeteksian dan pengukuran ketidaksempurnaan bergantung pada metode pengujian dan tingkat pengujian yang ditetapkan dalam standar aplikasi atau kontrak (ISO 5817-2023). Pengujian NDT memiliki macam-macam pengujian seperti:

- *Visual Test*

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengamati langsung permukaan benda kerja hasil pengelasan, baik dengan kasat mata maupun menggunakan alat bantu penglihatan diantaranya: kaca pembesar, cermin, atau lampu penerangan. Tujuannya adalah untuk mendeteksi ketidaksempurnaan yang tampak pada permukaan secara *visual*. Hasil las yang telah selesai harus diperiksa untuk menentukan apakah hasil las tersebut memenuhi

persyaratan aplikasi atau standar produk atau kriteria penerimaan lain yang telah disetujui, misalnya ISO 5817 atau ISO 10042. Hasil las yang telah selesai setidaknya harus diperiksa sesuai dengan persyaratan yang diberikan (EN ISO 17637, 2016).

- *Penetrant Test*

Pengujian *penetrant* salah satu metode dari pengujian *non-destruktif* (NDT) yang tidak merusak benda uji. Metode ini digunakan untuk mendeteksi adanya cacat-cacat kecil pada permukaan hasil pengelasan, seperti retakan halus, porositas, atau kekurangan penetrasi yang tidak terlihat secara kasat mata (Indra, Pramudya, & Pranata, 2020). *Liquid Penetrant Test* adalah metode pengujian yang bertujuan untuk mendeteksi ketidakraturan pada permukaan, seperti retakan kecil, pori-pori, atau kebocoran. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip kapilaritas, yaitu kemampuan cairan untuk masuk ke dalam celah atau ketidaksempurnaan kecil pada permukaan material, yang umumnya terbentuk akibat proses produksi, seperti retak, lubang, atau kontaminasi lainnya (Yunianto, 2023) Tahapan pengujian *penetrant* dilakukan sesuai dengan standar EN ISO 3452-1, 2021.

- *Radiographic test*

Uji radiografi juga salah satu metode dari pengujian *non-destruktif* (NDT) yang tidak menyebabkan kerusakan maupun perubahan bentuk, baik secara fisik maupun kimia, pada spesimen selama proses pengujian berlangsung maupun setelahnya. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan yang terdapat di bagian dalam hasil pengelasan yang tidak dapat diamati langsung oleh mata. Uji radiografi pada dasarnya dilakukan dengan menyinari objek uji menggunakan radiasi berenergi tinggi seperti sinar-X dan sinar gamma. Dalam metode ini, sinar elektromagnetik dipancarkan menembus material uji, kemudian hasil dari proses ini ditangkap dan direkam pada film khusus (Yogga, 2021) Dari hasil rekaman film akan dapat diamati apakah didalam hasil pengelasan terdapat cacat atau tidak dari rekaman film yang di hasilkan dari proses pengujian *radiographic test*.

- *Ultrasonic Test*

Pengujian ultrasonik suatu pengujian yang menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi yang berada di luar kemampuan pendengaran manusia untuk memeriksa suatu objek. Gelombang frekuensi tinggi ini melewati material yang diuji dan bergerak dengan kecepatan yang berbeda tergantung jenis materialnya, meskipun kecepatan gelombang tersebut konsisten pada setiap jenis material tertentu. Melalui

metode ini, kita dapat memahami karakteristik geometris dan mengevaluasi material tersebut untuk mendeteksi adanya cacat atau kerusakan lain (Sharma, 2018).

Sistem UT terdiri dari beberapa komponen utama yakni: gelombang penerima, transduser, dan perangkat tampilan. Gelombang penerima merupakan alat elektronik yang mampu menghasilkan tegangan listrik tinggi sehingga transduser frekuensi tinggi dapat menghasilkan gelombang ultrasonik (Deborah, 2014). Ketika ditemukan cacat pada spesimen uji dideteksi oleh gelombang, sebagian energi akan dipantulkan kembali dari permukaan cacat.

- *Magnetic Test*

Pengujian magnetik dipakai untuk mendeteksi ketidakaturan atau cacat yang terdapat pada material uji, baik yang berada di permukaan maupun cacat yang berada didalam hasil pengelasan (Perdana, 2015). Proses pengujian magnetik menggunakan bahan bernama *White Contrast Paint* yang berfungsi untuk melapisi permukaan material uji. Saat bahan tersebut disemprot dengan partikel basah dari *Prepared Bath*, cacat yang ada akan terlihat ketika partikel tersebut dimagnetisasi. Pada pengujian *Magnetic Particle Test*, magnetisasi dilakukan dalam berbagai posisi agar semua cacat pada material uji bisa terdeteksi secara menyeluruh

3. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode kualitatif dengan mengkaji hasil dari pengelasan GMAW pada sambungan *fillet tipe T joint*. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah variasi tegangan listrik (*voltage*) dan perbedaan jenis kawat las yang dipakai. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi cacat las yang muncul pada spesimen uji dengan menerapkan metode pengujian *visual* dan *penetran test*. Standar pengujian yang digunakan pada penelitian berpedoman pada standar ISO 5817-2023 untuk *visual test* dan 23277-2015 untuk *penetrant test*.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan 3 variabel yakni:

1. Variabel terkontrol

- Pengelasan GMAW.
- Material baja TNI CEN ISO/TR 15608 skup./group/1.2. Tebal 8 mm.
- Diameter kawat las 1 mm.

- Jenis gas EN ISO 14175-M21-82%+18% CO₂.
- Tekanan gas 15 ℓ/min.
- Tipe sambungan *fillet T joint*.
- Posisi pengelasan PB dengan panjang lasan 300 mm dan Lebar 70 mm.
- Jarak *stick out* 10 mm.
- *Travel speed* pengelasan 5 mm/s.

2. Variabel terikat

- Analisa hasil las dengan *visual test*.
- Analisa hasil las dengan *penetrant test*.

3. Variabel bebas

- Variasi *voltage* 20.6 V, 23.7 V, 27.9 V.
- Perbedaan kawat las
 1. EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiL (*Standard ISO*),
A5.18: ER70S-6. (*Standard AWS*),
Z 3312: YGW12. (*Standard JIS*).
 2. EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu. (*Standard ISO*),
A5.28: ER80S-G (*Standard AWS*).

Metode Analisa dan Pengolahan Data

Metode pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini yakni dengan menyajikan tabel pada setiap hasil pengujian yang melibatkan variasi *voltage* dan perbedaan jenis kawat las. Tabel tersebut berisi informasi tentang variasi *voltage* yang diterapkan, tipe cacat las, jenis kawat las yang digunakan, serta cacat yang ditemukan pada hasil pengelasan. Kriteria penerimaan cacat las pada hasil las berpedoman pada standar ISO 5817-2023 untuk *visual test* dan standar ISO 23277 untuk *penetrant test*. Maka, dari tabel tersebut nantinya dapat digunakan untuk menganalisa perbedaan hasil pengujian dari setiap variasi yang di gunakan dan dapat ditarik kesimpulan pada penelitian ini. Pada gambar 3 di bawah ini merupakan contoh tabel yang akan digunakan untuk metode pengolahan data dan analisa data.

<i>Visual Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan X (X adalah variasi <i>voltage</i> dalam pengujian)							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiL			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.							
2.							
3.							

(a)

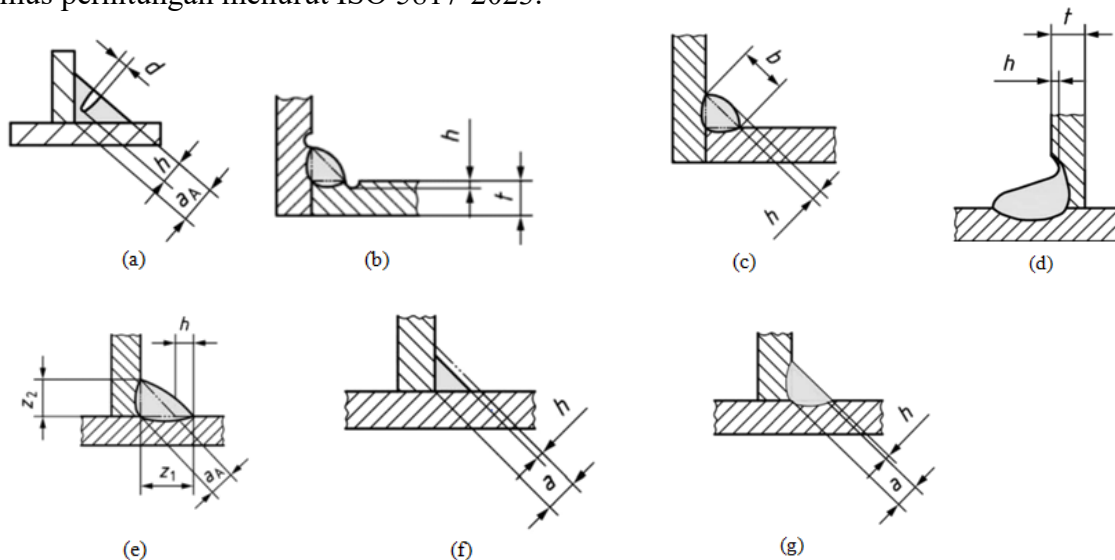
<i>Penetrant Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan X (X adalah variasi <i>voltage</i> dalam pengujian)							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiL			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.							
2.							
3.							

(b)

Gambar 3 (a) Contoh format tabel untuk *Visual test*, (b) Contoh format tabel untuk *penetrant test*.

Rumus Perhitungan Cacat Las

Untuk menentukan kriteria penerimaan cacat las dilakukan perhitungan dan dimana hasil perhitungan itu akan menentukan cacat las dapat diterima atau ditolak yang berpedoman pada standar ISO 5817-2023. Pada gambar 4 dibawah ini akan ditunjukkan rumus perhitungan menurut ISO 5817-2023.



Gambar 4 Rumus perhitungan cacat las (ISO 5817-2023)

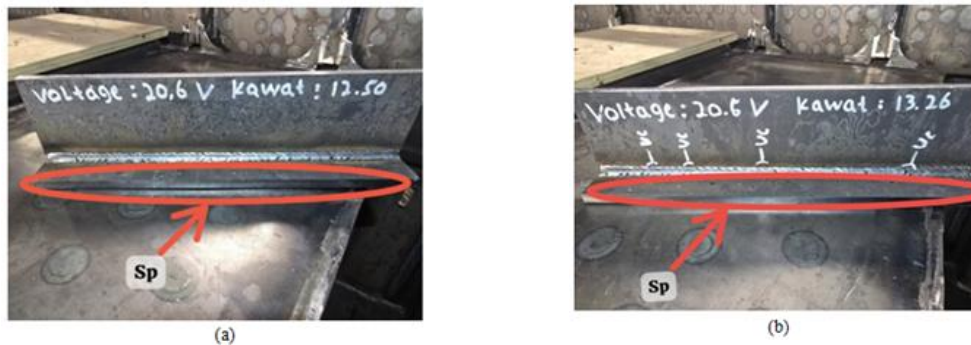
Dibawah ini akan di jelaskan keterangan mengenai jenis cacat las dan rumus perhitungan menurut ISO 5817-2023:

- a) *End creater pipe*
 $(h \leq 0,1a_A, \text{ but max } 1 \text{ mm})$
 $(d \leq 0,2 a_A, \text{ but max } 2 \text{ mm})$
- b) Cacat Las *Undercut*
 $(h \leq 0,1 t, \text{ but max } 0.5 \text{ mm})$
- c) *Excessive convexity*
 $(h \leq 0,15 b + 1 \text{ mm}, \text{ but max } 4 \text{ mm})$
- d) *Sangging*
 $(h \leq 0,1 t, \text{ but max } t \text{ mm})$
- e) *Excessive unequal leg lenght*
 $(h \leq 0,15 a_A + 2 \text{ mm})$
- f) *Insufficient throat thickness*
 $(h \leq 0,1 a + 0.3 \text{ mm}, \text{ but max } 1 \text{ mm})$
- g) *Excessive throat thickness*
 $(h \leq 0,2 a + 1 \text{ mm}, \text{ but max } 4 \text{ mm}).$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari pengelasan dengan menggunakan variasi *voltage* 20.6 V

Gambar 5 di bawah ini menunjukkan hasil dari pengujian secara *visual* terhadap sambungan las yang dilakukan dengan tegangan 20,6 V. Pada gambar (a), proses pengelasan menggunakan kawat jenis EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil, sedangkan pada gambar (b) menggunakan kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.



Gambar 5 Hasil *visual test* dengan menggunakan variasi *voltage* 20.6 V

Keterangan gambar:

Sp : Cacat las *spatter*.

Uc : Cacat las *undercut*.

Tabel 1 di bawah ini menyajikan data mengenai jenis-jenis cacat pengelasan yang teridentifikasi pada variasi tegangan 20,6 V, dengan penggunaan dua jenis kawat las yaitu EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.

Tabel 1 Hasil *visual test* variasi *voltage* 20.6 V

<i>Visual Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan 20.6 V							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.	Ukuran las	z1=5 z2=5 a=5.2	✓	-	z1=5 z2=5 a=5	✓	-
2.	<i>Spatter</i>	-	-	✓	-	-	✓
3.	<i>Undercut</i>	-	-	-	h=0.6	-	✓
4.	<i>Weld Deposit Thickness</i>	h=5.2	✓	-	h=5	✓	-
5.	<i>Excessive Troat Thicknes</i>	h=2.4	✓	-	h=2	✓	-

Adapun pembahasan mengenai pengujian *visual* akan di jelaskan dibawah ini dari tabel 1 yang di sajikan di atas.

1. Dari hasil pengujian *visual* yang dilakukan pada variasi *voltage* 20.6 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil memiliki ukuran las z1=5 mm, z2=5 mm. a=5,2 mm dan pada hasil pengelasan ini di temukan cacat las *spatter*, *excessive troat thicknes*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *spatter* **ditolak**, kemudian cacat las *excessive troat thicknes*

diterima dan juga untuk *weld deposit thicknes* pada hasil pengelasan ini menurut standar ISO 15614-1:2004 **diterima**.

2. Dari hasil pengujian *visual* yang dilakukan pada variasi *voltage* 20.6 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu memiliki ukuran las $z_1=5$ mm, $z_2=5$ mm. $a=5$ mm dan pada hasil pengelasan ini ditemukan cacat las *spatter*, *undercut*, *excessive troat thicknes*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *spatter* **ditolak**, untuk cacat las *undercut* **ditolak**, kemudian cacat las *excessive troat thicknes* **diterima** dan juga untuk *weld deposit thicknes* pada hasil pengelasan ini menurut standar ISO 15614-1:2004 **diterima**.

Gambar 6 berikut ini menampilkan hasil uji *penetrant* terhadap sambungan las dengan variasi tegangan 20,6 V. Gambar (a) menunjukkan hasil pengelasan menggunakan kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil, sedangkan gambar (b) memperlihatkan penggunaan kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.



Gambar 6 Hasil *penetrant test* dengan menggunakan variasi *voltage* 20.6 V

Keterangan gambar:

Uc : Cacat las *undercut*.

Por : Cacat las *end creater pipe*.

Tabel 2 di bawah ini menyajikan informasi mengenai jenis-jenis cacat pengelasan yang terdeteksi pada variasi tegangan 20,6 V, dengan penggunaan dua tipe kawat yang berbeda, yaitu EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.

Tabel 2 Hasil *penetrant test* variasi *voltage* 20.6 V

<i>Penetrant Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan 20.6 V							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.	<i>Undercut</i>	$h=0.6$	-	✓	$h=0.6$	-	✓
2.	<i>End Creater pipe</i>	-	-	-	$h=1.5$ $d=1$	-	✓

Adapun pembahasan mengenai pengujian *penetrant* akan dijelaskan di bawah ini dari tabel 2 yang disajikan di atas.

1. Dari hasil pengujian *penetrant* yang dilakukan pada variasi *voltage* 20.6 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiI hanya ditemukan cacat las *undercut*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *undercut* **ditolak**.
2. Dari hasil pengujian *penetrant* yang dilakukan pada variasi *voltage* 20.6 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu ditemukan cacat las *undercut* dan *end crater pipe*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *undercut* **ditolak**. Untuk cacat las *end crater pipe* **ditolak**.

Hasil dan pembahasan dari pengelasan dengan penggunaan variasi *voltage* 23.7 V

Gambar 7 di bawah ini menampilkan hasil pemeriksaan *visual* terhadap sambungan las yang dilakukan pada tegangan 23,7 V. Pada gambar (a) digunakan kawat las jenis EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiI, sedangkan gambar (b) menggunakan kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu



Gambar 7 Hasil *visual test* dengan menggunakan variasi *voltage* 23.7 V

Keterangan gambar:

Sp : Cacat las *spatter*.

Tabel 3 di bawah ini menyajikan informasi mengenai jenis-jenis cacat pengelasan yang teridentifikasi pada pengujian dengan tegangan 23,7 V, menggunakan dua jenis kawat las yaitu EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiI dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.

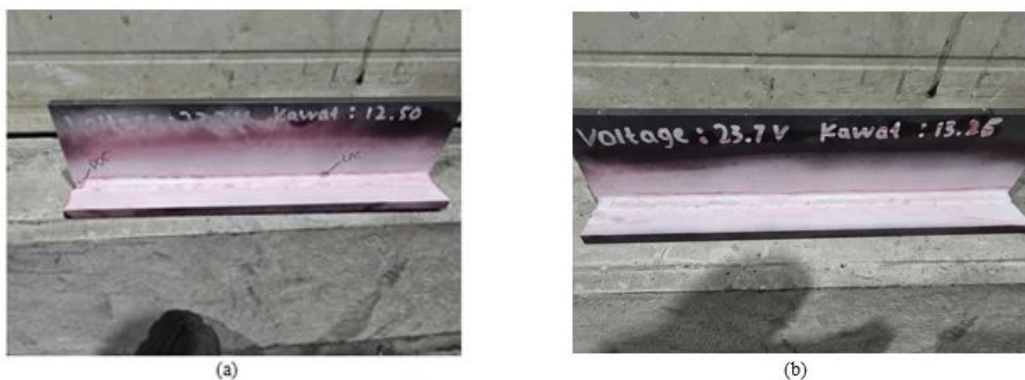
Tabel 3 Hasil *visual test* variasi *voltage* 23.7 V

<i>Visual Test</i>						
Pengujian dengan Tegangan 23.7 V						
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3SiI			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu	
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima
1.	Ukuran las	z1=5.5 z2=5.5 a=5	✓	-	z1=5 z2=5 a=5	✓
2.	<i>Spatter</i>	-	-	✓	-	✓
3.	<i>Weld Deposit Thickness</i>	h=5	✓	-	h=5	✓
4.	<i>Excessive Troat Thickness</i>	h=2	✓	-	h=2	✓

Pembahasan mengenai pengujian *visual* akan dijelaskan di bawah ini dari tabel 3 yang disajikan di atas.

1. Dari hasil pengujian *visual* yang dilakukan pada variasi *voltage* 23.7 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si memiliki ukuran las $z_1=5.5$ mm, $z_2=5.5$ mm. $a=5$ mm dan pada hasil pengelasan ini hanya ditemukan cacat las *spatter*, *excessive troat thicknes*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO 5817-2023 cacat las *spatter* **ditolak**, kemudian cacat las *excessive troat thicknes* **diterima** dan juga untuk *weld deposit thicknes* pada hasil pengelasan ini menurut standar ISO 15614-1:2004 **diterima**.
2. Dari hasil pengujian *visual* yang dilakukan pada variasi *voltage* 23.7 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu memiliki ukuran las $z_1=5$ mm, $z_2=5$ mm. $a=5$ mm dan pada hasil pengelasan ini ditemukan cacat las *spatter*, *excessive troat thicknes*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO 5817-2023 cacat las *spatter* **ditolak**, kemudian cacat las *excessive troat thicknes* **diterima** dan juga untuk *weld deposit thicknes* pada hasil pengelasan ini menurut standar ISO 15614-1:2004 **diterima**.

Di bawah ini pada gambar 8 merupakan hasil *penetrant test* pada pengelasan dengan menggunakan variabel *voltage* 23.7 V dan pada gambar (a) menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si dan gambar (b) menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.



Gambar 8 Hasil *penetrant test* dengan menggunakan variasi *voltage* 23.7 V

Keterangan gambar:

Uc : Cacat las *undercut*.

Por : Cacat las *end creater pipe*.

Tabel 4 di bawah ini menampilkan berbagai jenis cacat las yang teridentifikasi pada penggunaan tegangan 23.7 V dengan dua jenis kawat berbeda, yaitu EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Si dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.

Tabel 4 Hasil *penetrant test* variasi *voltage* 23.7 V

<i>Penetrant Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan 23.7 V							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.	<i>Undercut</i>	h=0.5	✓	-	-	-	-
2.	<i>End Creater pipe</i>	h=0.5 d=1	✓	-	-	-	-

Adapun pembahasan mengenai pengujian *penetrant* akan dijelaskan di bawah ini dari tabel 4 yang disajikan di atas.

1. Dari hasil pengujian *penetrant* yang dilakukan pada variasi *voltage* 23.7 V cacat las hanya ditemukan pada jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil . cacat las yang ditemukan yakni *undercut* dan *end creater pipe*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *undercut* **diterima**, dan untuk cacat las *end creater pipe* **diterima**.

Hasil dan pembahasan dari pengelasan dengan menggunakan variasi *voltage* 27.9 V

Di bawah ini pada gambar 9 merupakan hasil pengujian *visual* pada pengelasan dengan menggunakan variabel *voltage* 27.9 V dan pada gambar (a) menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan gambar (b) menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.



Gambar 9 Hasil *visual test* dengan menggunakan variasi *voltage* 27.9 V

Keterangan gambar:

Sp : Cacat las *spatter*.

Uc : Cacat las *undercut*.

Tabel 5 di bawah ini menyajikan berbagai macam cacat pada hasil pengelasan yang ditemukan saat menggunakan tegangan 27.9 V, dengan dua jenis kawat las yaitu EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu

Tabel 5 Hasil *visual test* variasi *voltage* 27.9 V

<i>Visual Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan 27.9 V							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.	Ukuran las	z1=5.8 z2=5.8 a=4.9	✓	-	z1=6 z2=6 a=4.8	✓	-
2.	<i>Spatter</i>	-	-	✓	-	-	✓
3.	<i>Undercut</i>	h=0.1	-	✓	-	-	-
4.	<i>Weld Deposit Thicknes</i>	h=4.9	✓	-	h=4.8	✓	-
5.	<i>Excessive Troat Thicknes</i>	h=1.98	✓	-	h=1.96	✓	-

Adapun pembahasan mengenai pengujian *visual* akan dijelaskan di bawah ini dari tabel 5 yang disajikan di atas.

1. Dari hasil pengujian *visual* yang dilakukan pada variasi *voltage* 27.9 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil memiliki ukuran las z1=5.8 mm, z2=5.8 mm. a=5.9 mm dan pada hasil pengelasan ini ditemukan cacat las *spatter*, *undercut*, *excessive troat thicknes*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *spatter* **ditolak**, dan untuk cacat las *undercut* **ditolak**, kemudian cacat las *excessive troat thicknes* **diterima** dan juga untuk *weld deposit thicknes* pada hasil pengelasan ini menurut standar ISO 15614-1:2004 **diterima**.
2. Dari hasil pengujian *visual* yang dilakukan pada variasi *voltage* 27.9 V dengan menggunakan jenis kawat EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu memiliki ukuran las z1=6 mm, z2=6 mm. a=4.8 mm dan pada hasil pengelasan ini ditemukan cacat las *spatter*, dan *excessive troat thicknes*. Untuk kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO ISO 5817-2023 cacat las *spatter* **ditolak**, kemudian cacat las *excessive troat thicknes* **diterima** dan juga untuk *weld deposit thicknes* pada hasil pengelasan ini menurut standar ISO 15614-1:2004 **diterima**.

Gambar 10 di bawah ini menampilkan hasil uji *penetrant* pada proses pengelasan dengan variasi tegangan 27,9 V, dimana gambar (a) menggunakan kawat jenis EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan gambar (b) memakai kawat jenis EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu



(a)



(b)

Gambar 10 Hasil *penetrant test* dengan menggunakan variasi *voltage* 27.9 V

Keterangan gambar:

Uc : Cacat las *undercut*.

Por : Cacat las *end creater pipe*.

Tabel 6 di bawah ini menyajikan berbagai jenis cacat las yang ditemukan pada variasi tegangan 27,9 V dengan penggunaan kawat jenis EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu.

Tabel 6 Hasil *penetrant test* variasi *voltage* 27.9 V

<i>Penetrant Test</i>							
Pengujian dengan Tegangan 27.9 V							
No	Cacat las	EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil			EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu		
		Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak	Ukuran (mm)	Diterima	Ditolak
1.	<i>End Creater pipe</i>	-	-	-	h=1 d=1	✓	-

Adapun pembahasan mengenai pengujian *penetrant* akan d jelaskan di bawah ini dari tabel 4 yang disajikan di atas.

1. Berdasarkan pengujian *penetrant* dengan variasi tegangan 27,9 V, cacat las hanya terdeteksi pada kawat jenis EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu. Cacat yang muncul adalah *end crater pipe*. Menurut standar ISO 5817-2023, cacat *end crater pipe* ini masih termasuk kategori yang dapat **diterima**.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa variasi tegangan (*voltage*) dan perbedaan jenis kawat las yang digunakan sebagai variabel memiliki pengaruh terhadap mutu sambungan las. Tegangan yang terlalu rendah cenderung menyebabkan munculnya lebih banyak cacat las, sedangkan tegangan yang terlalu tinggi juga dapat memicu terjadinya cacat pada hasil pengelasan. Data penelitian dari kedua pengujian ditemukan 4 jenis cacat las pada pengujian *visual* diantaranya *spatter*, *undercut*, *weld deposit thicknes*, *Excessive*

Troat Thicknes, dan juga ditemukan 2 jenis cacat las pada pengujian *penetrant* diantaranya *undercut dan end creater pipe*. Berdasarkan kedua pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan terbaik diperoleh pada variasi *voltage* 23,7 V dengan menggunakan kawat las jenis EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu, karena pada kondisi ini jumlah cacat las paling sedikit ditemukan. Sedangkan hasil pengelasan yang paling kurang baik terjadi pada variasi *voltage* 20,6 V dengan menggunakan kawat las EN ISO 14341-A: G 42 4 M21 3Sil dan EN ISO 14341-A: G 46 4 M21 Z 3Ni1Cu, di mana cacat las paling banyak muncul baik pada pengujian *visual* maupun *penetrant*.

DAFTAR REFERENSI

- Asngali, B. (2011). Pengaruh waktu pengelasan GMAW terhadap sifat fisik mekanik sambungan las logam tak sejenis antara aluminium dan baja karbon rendah. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1).
- Debora, F. (2002). *Pengukuran ketebalan serta posisi cacat pada sampel carbon steel dan stainless steel dengan metode ultrasonic testing*. Malang: Universitas Sriwijaya.
- Hasan, N., & Kosjoko. (2021). Pengaruh voltage pada gas metal arc welding (GMAW) terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik pada baja ST 60 dengan sambungan tirus tunggal.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 4063. (2022). *Welding, brazing, soldering, and cutting – Nomenclature of processes and reference numbers*.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 17632. (2015). *Welding consumables - Tubular cored electrodes for gas shielded and non-gas shielded metal arc welding of non-alloy and fine grain steels – Classification*.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 17637. (2016). *Non-destructive testing of weld – Visual testing of fusion-welded joints*.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 5817. (2023). *Welding – Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) – Quality levels for imperfections*.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 6947. (2019). *Welding and allied processes – Welding positions*.
- Perdana, D., & Syarif, A. B. (2015). Analisa pengaruh jenis pengelasan SMAW dan FCAW terhadap sifat mekanis baja ASTM A36 pada konstruksi land side upper leg. *ReTII*.
- Purkuncoro, A. E. (2019). Analisis pengaruh variasi arus listrik 90 A, 110 A, 130 A terhadap sifat mekanis dan struktur mikro hasil pengelasan gas metal arc welding (GMAW) pada baja karbon JIS S50C. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 9(1), 1–8.

- Saragih, R. K., & Silaen, E. W. (2023). Analisis pengujian penetrant pada pengelasan GMAW baja karbon rendah. *Majalah Iptek Politeknik Negeri Medan Polimedia*, 26(2), 39–46.
- Sharma, A., & Sinha, A. K. (2018). Ultrasonic testing for mechanical engineering domain: Present and future perspective. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 7(2), 243–253.
- Simamora, J., Gamayel, A., Indra, I. B., & Zaenudin, M. (2023). Pengaruh pengaturan voltase terhadap kekuatan tarik pada gas metal arc welding antara pipa STKM 13B dan pelat SPH 440. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 4(1), 83–89.
- Sugiarto. (2012). Analisis cacat las hasil kombinasi filler rod dan elektroda pada sambungan pipa menggunakan pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW GMAW metode temper bead welding dengan variasi temperatur interpass pada baja karbon sedang.
- Utama, I., Santosa, P. I., & Pranata, E. (2020). Pengaruh variasi arus las pada pengelasan FCAW dari material baja kapal ASTM SS 400. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*, 2(1).
- Yogga, Y. D. (2021). *Analisa hasil sambungan las SMAW pada material baja ASTM A36 dengan variasi arus dan jarak kampuh las* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Yunianto, B., & Wicaksana, P. (2023). Analisis cacat hasil pengelasan pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan magnetic particle test dan liquid penetrant test di workshop las dan inspeksi PPSDM Migas Cepu. *ROTASI*, 25(2), 54–60.