

ANALISA HASIL PENGELASAN PADA POSISI 1G BAJA ST37 DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS*

Iman Pradana A. Assagaf¹, Ariyanto², Nurhidayat³, Rizqi Ilmal Yaqin⁴
& Angger Bagus Prasetyo⁵

^{1,2,3} Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik ATI Makassar

⁴ Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

⁵ Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
E-mail: iman.pradana@atim.ac.id

Abstrak: Pengelasan merupakan proses penting dalam industri manufaktur, logam dan permesinan, hasil pengelasan mahasiswa pada posisi 1G Baja ST7 diteliti dengan tujuan untuk mengidentifikasi potensi cacat las, menentukan penyebab akar, mengevaluasi dan mengembangkan strategi perbaikan untuk meningkatkan kualitas pengelasan secara keseluruhan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kualitatif dan kuantitatif. Pengukuran dimensi pengelasan dengan inspeksi las visual, serta pengujian *liquid penetrant test* untuk mengidentifikasi cacat las. Data diolah dengan menggunakan diagram pareto untuk mengetahui jenis cacat dominan yang terjadi pada proses pengelasan. Setelah diketahui jenis cacat dominan selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis*. Hasil pengujian *liquid penetrant test* menunjukkan terdapat 8 jenis cacat las dengan jumlah cacat 62. Dalam FTA, telah teridentifikasi peristiwa dasar atau "*basic events*" yang berkontribusi pada terjadinya cacat las yaitu faktor-faktor seperti ketidakstabilan kecepatan pengelasan, pengaturan arus yang tidak benar dan elektroda yang lembab. Evaluasi berkala, pemantauan dan pengawasan yang kontinu selama proses pengelasan untuk mengurangi risiko cacat dan meningkatkan kualitas pengelasan.

Kata Kunci: Cacat las, *Fault Tree Analysis*, Pengelasan.

Abstract: *Welding is an important process in the manufacturing, metal and machinery industries, the welding results of students in the 1G Steel ST7 position are studied with the aim of identifying potential weld defects, determining root causes, evaluating and developing repair strategies to improve overall welding quality. The methods used in this research are qualitative and quantitative methods. Measuring welding dimensions with visual weld inspection, as well as liquid penetrant testing to identify weld defects. The data is processed using a Pareto diagram to determine the dominant types of defects that occur in the welding process. Once the dominant defect type is known, analysis is then carried out using the Fault Tree Analysis method. The results of the liquid penetrant test show that there are 8 types of weld defects with a total of 62 defects. In the FTA, basic events have been identified that contribute to the occurrence of weld defects, namely factors such as welding speed instability, incorrect current settings, and moist electrode. Regular evaluation, continuous monitoring and supervision during the welding process to reduce the risk of defects and improve welding quality.*

Keywords: *Weld defects, Fault Tree Analysis, Welding*

PENDAHULUAN

Era perkembangan yang semakin pesat, baik industri manufaktur maupun jasa dituntut untuk menghadapi persaingan pasar agar mampu bersaing dan bertahan. Salah satu faktornya adalah pembangunan sumber daya manusia berkompeten untuk menghasilkan kualitas produk yang sesuai dengan standar industri (Shania et al., 2020). Politeknik ATI Makassar sebagai salah satu perguruan tinggi negeri dibawah naungan kementerian perindustrian yang menyiapkan sumber daya manusia industri yang sesuai dengan kebutuhan dan permintaan industri, dengan proses pembelajaran mengacu pada SKKNI bidang pengelasan. Dalam industri logam, permesinan, dan manufaktur pengelasan merupakan proses penting dalam penyambungan logam, karena tidak semua proses konstruksi dapat dicetak melalui casting. Penyambungan logam dengan proses pengelasan menjadi lebih murah dan efisien sehingga dapat meringankan biaya produksi (Azwinur & Muhazir, 2019; Widharto, 2013).

Prosedur yang digunakan dalam proses pengelasan adalah *Welding Procedure Specification* (WPS), yang merupakan dokumen yang mengatur prosedur dan spesifikasi dalam pengelasan. WPS berisi berbagai aturan dan standar yang digunakan untuk mengstandarisasi proses pengelasan. Dokumen ini mencakup informasi tentang jenis las yang digunakan, suhu maksimum yang diizinkan, spesifikasi ketebalan material yang akan dilas, arus listrik yang digunakan, kecepatan pengelasan, tegangan listrik yang diterapkan, serta heat input yang digunakan (Mahajan & Chhibber, 2020; Shukla et al., 2018). Apabila pekerjaan pengelasan dilakukan dengan tidak benar atau tidak sesuai prosedur

yang ditetapkan, kemungkinan terjadinya cacat las akan meningkat. Cacat las dapat menyebabkan kualitas sambungan las menjadi buruk dan tidak memuaskan pada tampilan struktur pelat yang dilas. Beberapa contoh cacat las yang umum meliputi porositas, retak, cacat pengisi, deformasi, dan ketidaksempurnaan dalam penggabungan logam. Cacat-cacat ini dapat mengurangi kekuatan dan daya tahan sambungan las, serta mengurangi tampilan estetik dari struktur yang terlas. (Marsudi, 2021).

Pengujian specimen hasil las dilakukan untuk menentukan kualitas pengelasan, bahwa spesimen tersebut sudah memenuhi standar-standar kualitas tertentu, agar dapat memberikan kepercayaan terhadap specimen yang di las (Akhyar et al., 2022). Cacat las yang masih terjadi dalam sistem produksi, mengakibatkan pemborosan pada material, waktu dan tenaga kerja yang lebih banyak (Sharma, 2022).

Fault Tree Analysis (FTA) dapat digunakan dalam konteks pengelasan untuk menganalisis potensi kegagalan atau cacat yang dapat terjadi dalam proses pengelasan. FTA dapat membantu dalam mengidentifikasi akar penyebab potensial dari cacat las dan memahami hubungan antara faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kegagalan tersebut. Dengan menggunakan FTA, semua kemungkinan penyebab cacat las dapat dianalisis secara sistematis dan hubungan antara penyebab dan efek dapat dijelaskan dalam bentuk pohon kesalahan (*fault tree*) (Arsić et al., 2022). Pada penelitian ini hasil pengelasan mahasiswa pada posisi 1G dilakukan analisa menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dengan tujuan untuk mengidentifikasi potensi cacat las, menentukan penyebab akar, mengevaluasi dan mengembangkan strategi perbaikan, serta meningkatkan kualitas pengelasan secara keseluruhan.

METODE

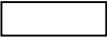
Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kualitatif dan kuantitatif. Penelitian ini dilaksanakan di Workshop Pengelasan Politeknik ATI Makassar. Sampel yang diuji dalam penelitian ini adalah 10 sampel hasil pengelasan mahasiswa pada posisi 1 G dengan material Baja ST 37 ketebalan 10 mm, panjang 300 mm dan lebar 150 mm. Parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel 1. inspeksi las visual dilakukan untuk memeriksa hasil pengelasan dan pebgukuran dimensi las dan mengidentifikasi cacat las pada spesimen hasil pengelasan mahasiswa dengan *liquid penetrant test*.

Tabel 1. Parameter Pengelasan

Layer Pengelasan.	Proses	Jenis elektroda	Diamater (mm)	Polaritas	Arus Ampere
Root Pass	SMAW	E-7016	2.6	DCRP	60-90
Fill Pass	SMAW	E-7016	3.2	DCRP	90-120
Capping Pass	SMAW	E-7016	3.2	DCRP	90-120

Pengolahan serta analisis data dilaksanakan dengan menerapkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), yang bertujuan untuk mengidentifikasi peristiwa utama atau top event yang signifikan. Dalam metode ini, digunakan pembuatan struktur pohon kesalahan untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat antara berbagai faktor. Informasi mengenai simbol-simbol yang digunakan dalam FTA dapat ditemukan dalam tabel 2 (Hidayat et al., 2018).

Tabel 2. Simbol *Fault Tree Analysis*

Simbol	Keterangan
	Top Event
	Logic Event AND
	Logic Event Or
	Basic Event

HASIL DAN DISKUSI

Data dalam penelitian ini data yang dianalisis adalah, data hasil inspeksi las visual, data indentifikasi cacat las dari pengujian *liquid penetrant test*, diagram pareto, *Fault Tree Analysis* cacat las.

Hasil

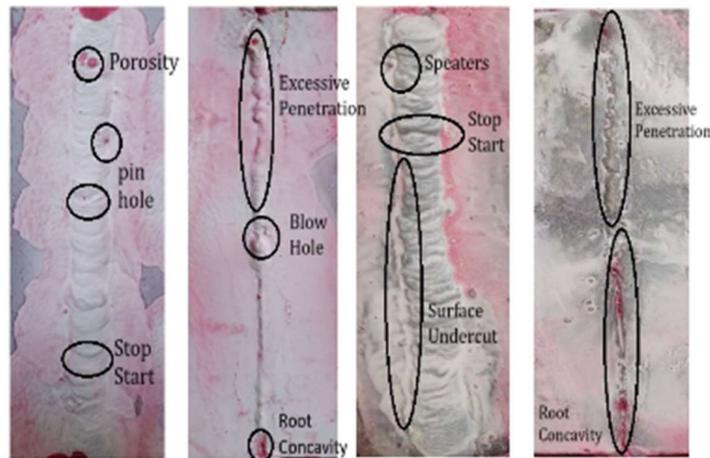
Inspeksi visual las merupakan salah satu tahap penting dalam memastikan kualitas pengelasan. Proses evaluasi fisik yang dilakukan secara visual untuk mengidentifikasi dimensi dan ukuran pengelasan. Pengukuran dimensi las diukur menggunakan welding gauge seperti pada gambar 1 dan hasil pengukuran dimensi pengelasan dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 1. Pengukuran Dimensi Las

Tabel 3. Hasil Pengukuran Dimensi Las

Spesimen	Lebar las (mm)	Tinggi Capping (mm)	Kedalaman cacat las (mm)	Tinggi Root (mm)
Spesimen 1	25	2,5	-1,5	2
Spesimen 2	21,5	3,5	-2	1,5
Spesimen 3	25	2,5	-0,5	2
Spesimen 4	20	2,5	-1,5	2
Spesimen 5	23	2	-2	2
Spesimen 6	25,5	2,5	-2	2
Spesimen 7	21	2	-1	0,5
Spesimen 8	22	2	-0,5	1
Spesimen 9	18	2	-1	0,5
Spesimen 10	25	3	-1,5	2
Rata-Rata	22.5	2.2	-1.5	1.5



Gambar 2. *Liquid Penetrant Test* Posisi IG

Hasil pengelasan posisi 1 G sejumlah 10 spesimen telah di uji dengan *liquid penetrant test* untuk mendeteksi cacat atau retakan pada permukaan benda uji, tujuan utama dari metode pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi cacat yang mungkin sulit dilihat secara visual. Sampel hasil pengujian benda uji dapat dilihat seperti pada gambar 2 dan identifikasi cacat terdapat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Identifikasi Cacat Las

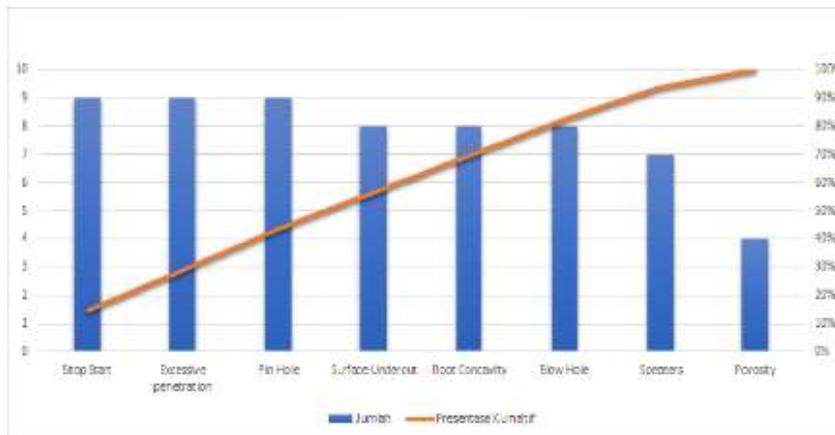
No.	Welding Deffect	Jumlah
1.	Stop Start	9
2.	Excessive penetration	9
3.	Pin Hole	9
4.	Surface Undercut	8
5.	Root Concavity	8
6.	Blow Hole	8
7.	Speaters	7
8.	Porosity	4
Total		62

Diagram pareto dibuat untuk pengklasifikasian *welding defect*/cacat las yang sesuai dengan jenisnya, untuk mengetahui *welding defect* yang paling sering muncul atau dominan. Dari data *welding defect*/cacat las, maka di susun berdasarkan jenis masing-masing dengan tabel, seperti dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengklasifikasian welding defect

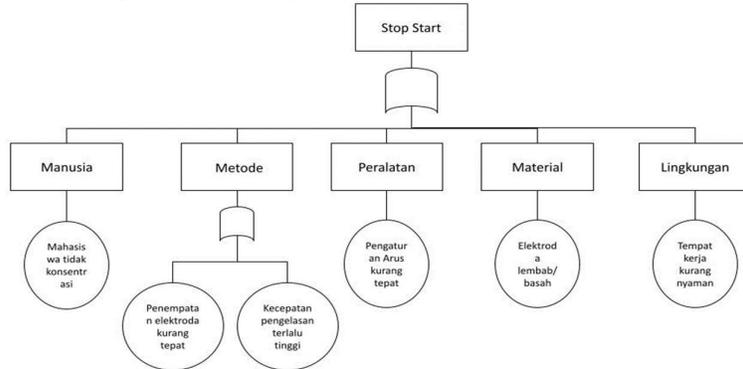
No.	Welding Deffect	Jumlah	Jumlah Kumulatif	Presentase	Presentase Kumulatif
1.	Stop Start	9	9	15%	15%
2.	Excessive penetration	9	18	15%	29%
3.	Pin Hole	9	27	15%	44%
4.	Surface Undercut	8	35	13%	56%
5.	Root Concavity	8	43	13%	69%
6.	Blow Hole	8	51	13%	82%
7.	Speaters	7	58	11%	94%
8.	Porosity	4	62	6%	100%
Total		62		100%	

Hasil yang terdapat pada tabel 5 dapat digunakan untuk membuat diagram pareto. Membuat Diagram pereto dengan memasukan jumlah untuk masing-masing *welding defect*/cacat las dan pesentase akumulasi. Diagram Pareto dapat dilihat pada gambar 3.



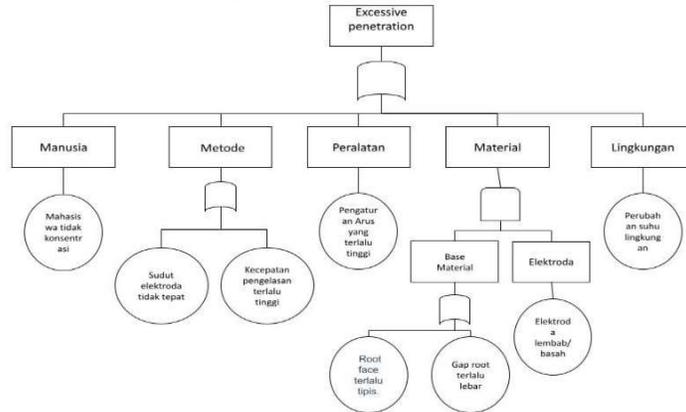
Gambar 3. Diagram Pareto

Teknik yang digunakan untuk mengenali risiko yang berkontribusi pada kegagalan adalah dengan menyelidiki penyebab-penyebabnya hingga sampai pada akar penyebab (*root cause*) yang dapat ditemukan dari setiap peristiwa puncak (*top event*). Dengan memanfaatkan hasil dari Diagram Pareto, dapat dibentuk Analisis Pohon Kegagalan (*Failure Tree Analysis/FTA*) untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab terjadinya cacat dalam pengelasan.



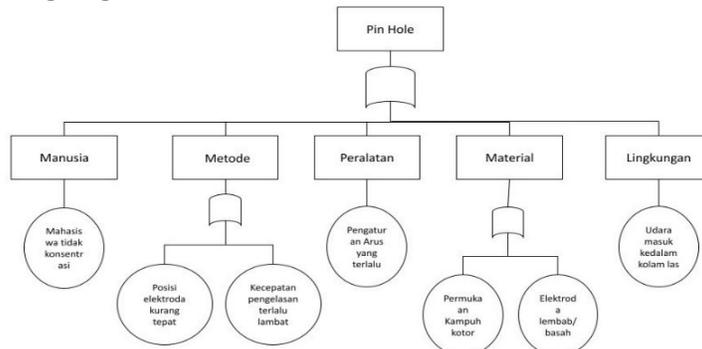
Gambar 4 . FTA *Stop Start*

Gambar 4 menunjukkan hasil analisa FTA pada cacat las *stop start* dengan penyebab penempatan elektroda kurang tepat, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pengaturan arus kurang tepat, serta lembab/basah dan tempat kerja yang nyaman.



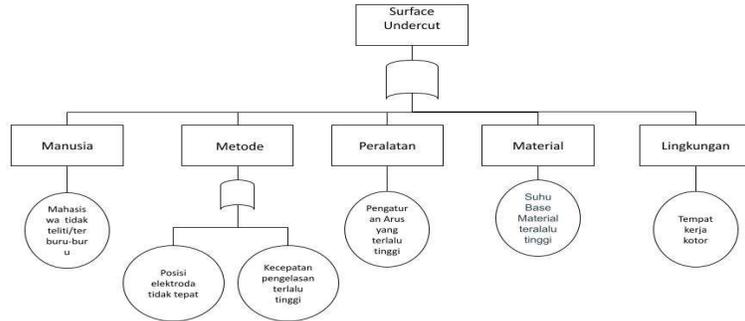
Gambar 5. FTA *Excissive penetration*

Gambar 5 menunjukkan hasil analisa FTA pada cacat las *Excissive penetration* dengan penyebab cacat las mahasiswa tidak konsentrasi, sudut elektroda tidak tepat, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pengaturan arus yang terlalu tinggi, root face teralau tipis, gap root terlalu lebar, elektroda lembab/basah dan perubahan suhu lingkungan.



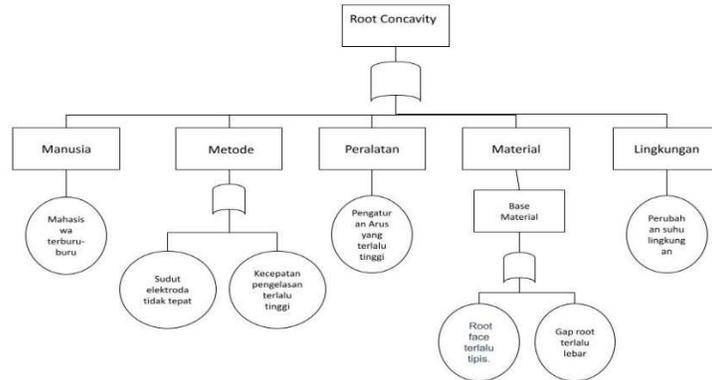
Gambar 6. FTA *Pin Hole*

Analisa FTA *Pin Hole* pada gambar 6 dengan penyebabnya yakni mahasiswa tidak konsentrasi, posisi elektroda kurang tepat, kecepatan pengelasan terlalu lambat, pengaturan arus yang terlalu tinggi, permukaan kampuh kotor, elektroda lembab dan udara masuk kedalam kolam las.



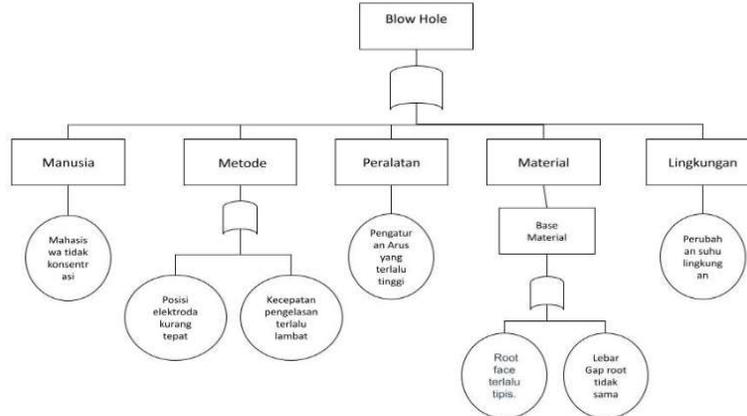
Gambar 7. *Surface Undercut*

Analisa FTA *Surface Undercut* pada gambar 7 dengan penyebabnya adalah mahasiswa tidak teliti/terburu-buru, posisi elektroda tidak tepat, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pengaturan arus yang terlalu tinggi, permukaan kampuh kotor, suhu base materiak terlalu tinggi, dan tempat kerja kotor.



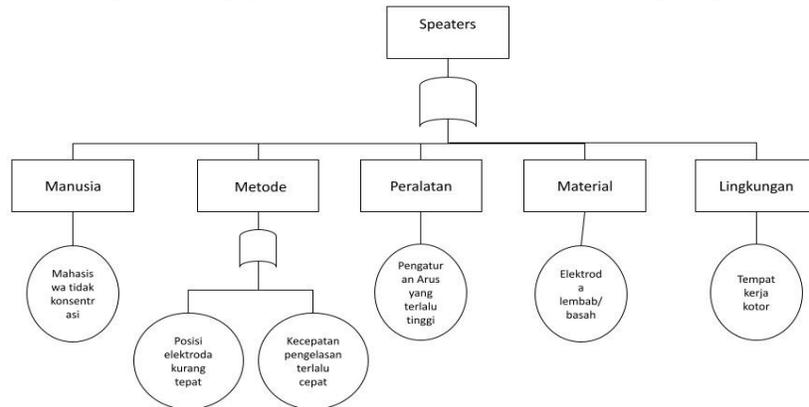
Gambar 8. FTA *Root Concavity*

Gambar 8. Analisa FTA pada cacat las *Root Concavity* menunjukkan penyebab cacat yakni mahasiswa terburu-buru, sudut elektroda tidak tepat, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pengaturan arus yang terlalu tinggi, root face terlalu tipis, gap root terlalu lebar dan perubahan suhu lingkungan.



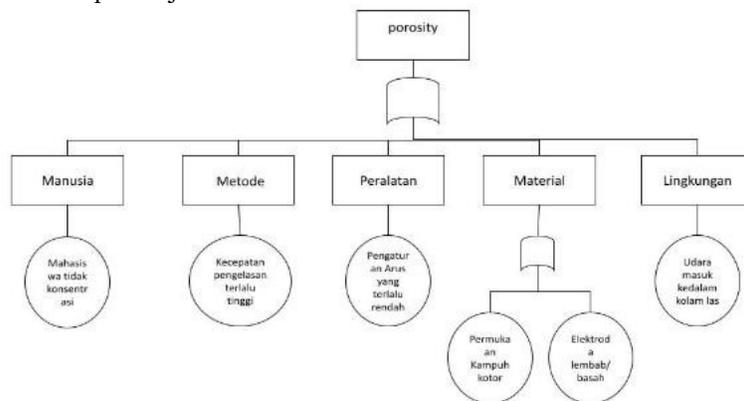
Gambar 9. FTA *Blow Hole*

Hasil analisa FTA cacat las *Blow Hole* pada gambar 9 dengan penyebab yaitu mahasiswa tidak konsentrasi, elektroda kurang tepat, kecepatan pengelasan terlalu lambat, pengaturan arus yang terlalu tinggi, root face terlalu tipis, lebar gap tidak sama, dan perubahan suhu lingkungan.



Gambar 10. FTA *Speaters*

Gambar 10. hasil analisa FTA cacat las *Speaters* dengan penyebab mahasiswa tidak konsentrasi, posisi elektroda kurang tepat, kecepatan pengelasan terlalu cepat, pengaturan arus terlalu tinggi, elektroda lembab dan tempat kerja kotor.



Gambar 11. FTA *Porosity*

Gambar 11 hasil analisa FTA cacat las *Speaters* dengan penyebab mahasiswa tidak konsentrasi, kecepatan pengelasan terlalu cepat, pengaturan arus terlalu rendah, elektroda lembab, permukaan kampuh kotor dan udara masuk kedalam kolam las.

Diskusi

Hasil pengukuran inspeksi las visual, beberapa elemen penting yang perlu diperhatikan adalah lebar las, tinggi caping, kedalaman cacat las, dan tinggi root. Lebar las mengukur sejauh mana pengelasan telah dilakukan di permukaan material. Ukuran ini penting untuk memastikan bahwa pengelasan mencakup area yang tepat untuk memastikan kekuatan dan integritas sambungan. Tinggi caping mengukur ketinggian dari permukaan las hingga puncak las. Nilai ini memberikan indikasi tentang seberapa baik pengelasan telah dilakukan dan sejauh mana logam pengisi telah menumpuk di atas permukaan material dasar. Kedalaman cacat las adalah ukuran dari sejauh mana cacat terbentuk atau masuk ke dalam sambungan las. Nilai negatif (-1.5 mm) mungkin mengindikasikan bahwa cacat terbentuk di bawah permukaan material dasar. Tinggi root mengukur ketinggian dari dasar sambungan las hingga permukaan material dasar yang berdekatan. Ini adalah elemen kunci dalam pengelasan berlapis (multilayer welding) seperti pengelasan pipa, di mana sambungan memiliki akar (root) yang menghubungkan dua bagian material (J. Paul Guyer, 2017; U. Aschemeier, 2015; Widharto, 2013).

Hasil pengujian liquid penetrant test pada spesimen pengelasan 1G mengidentifikasi cacat las *Stop*

Start, Excessive penetration, Pin Hole, Surface Undercut, Root Concavity, Blow Hole, Speaters dan Porosity. Cacat *Stop Start* merujuk pada variasi dalam proses pengelasan di mana pengelasan dimulai dan dihentikan. *Excessive penetration* terjadi ketika terlalu banyak logam pengisi ditambahkan, menyebabkan penetrasi berlebihan di antara material dasar. Ini bisa menghasilkan akumulasi logam yang berlebihan dan mengganggu sifat mekanis sambungan. *Pin hole* adalah lubang kecil yang muncul di permukaan pengelasan. Undercut adalah kondisi di mana material dasar di bawah permukaan pengelasan terpotong atau terkikis, seringkali akibat dari parameter pengelasan yang tidak tepat. *Root concavity* adalah celah atau cekungan yang terbentuk di daerah akar pengelasan. Ini bisa menyebabkan ketidaksempurnaan dalam struktur sambungan. *Blow hole* adalah rongga atau lubang yang terbentuk akibat gas terperangkap selama proses pengelasan. *Spaters* merujuk pada butiran logam yang terlepas dari daerah pengelasan dan menempel pada permukaan sekitarnya. *Porosity* adalah cacat yang terdiri dari rongga atau pori-pori kecil yang terbentuk oleh gelembung gas dalam logam cair yang membeku. Setiap jenis cacat ini dapat memiliki dampak yang berbeda pada kualitas sambungan las (Huda & Widiyanesti, 2018; Kurniadi et al., 2022; Zhang et al., 2019).

Usulan langkah perbaikan dan analisis penyebab menggunakan metode *Failure Tree Analysis* (FTA) adalah langkah yang baik untuk mengatasi masalah cacat dalam proses pengelasan. yaitu dengan : menetapkan pedoman dan parameter yang tepat untuk kecepatan pengelasan yang konsisten. Meningkatkan kesadaran akan potensi bahaya akibat kurangnya konsentrasi, seperti cacat dalam pengelasan dan risiko kecelakaan. Memastikan tempat kerja memiliki pencahayaan yang memadai, ventilasi yang baik, dan fasilitas yang mendukung kenyamanan kerja. Memastikan mahasiswa memahami dan menerapkan pengaturan ampere yang sesuai dengan material yang digunakan dan tipe pengelasan. Mengedukasi mahasiswa tentang pentingnya menjaga elektroda dalam kondisi kering untuk mencegah masalah selama pengelasan. FTA juga membantu dalam mengidentifikasi potensi akar penyebab yang lebih mendalam dan menciptakan pemahaman yang lebih baik tentang relasi antara penyebab dan efek. Hal ini dapat membantu institusi atau organisasi untuk mengambil langkah-langkah pencegahan dan perbaikan yang lebih tepat guna (Dhani et al., 2019; Ilmi & Lawi, 2022; Wiyogo, 2020).

SIMPULAN

Hasil pengukuran inspeksi las visual dengan nilai rata-rata lebar las 22.2 mm, tinggi las 2.2 mm, kedalaman cacat las -1.5 mm dan tinggi root 1.5 mm. Terdapat 8 jenis cacat las *Stop Start, Excessive penetration, Pin Hole, Surface Undercut, Root Concavity, Blow Hole, Speaters dan Porosity.* Hasil Analisa FTA mempunyai akar permasalahan atau basic event mahasiswa tidak berkonsentrasi, kecepatan pengelasan tidak stabil, pengaturan arus masih belum benar, elektroda lembab, dan tempat kerja tidak nyaman. Setelah mengidentifikasi akar penyebab, dapat mengambil langkah-langkah perbaikan mengurangi risiko cacat dan meningkatkan kualitas pengelasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik ATI Makassar yang telah mendanai penelitian, kemudian kepada mahasiswa program studi Teknik Manufaktur Industri Agro yang telah berpartisipasi pada penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Akhyar, Tamlichah, A., Farhan, A., Azwinur, Syukran, Fadhillah, T. A., Firsah, T., & Ghazilla, R. A. R. (2022). Evaluation of Welding Distortion and Hardness in the A36 Steel Plate Joints Using Different Cooling Media. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031405>
- Arsić, D., Kirin, S., Nikolić, R., Arsić, A., & Radović, L. (2022). Probabilistic approach and fault-tree analysis for increased bucket wheel excavator welded joints reliability. *Procedia Structural Integrity*, 42, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.12.023>
- Azwinur, & Muhazir. (2019). PENGARUH JENIS ELEKTRODA PENGELASAN SMAW TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL SS400. In *Jurnal Polimesin* (Vol. 17, Issue 1).
- Dhani, M. R., Jumali, & Hakim, M. M. I. (2019). Analisis Risiko Pekerjaan Pengelasan SMAW dan OAW dalam Proses Belajar Mengajar di Institusi Pendidikan Tinggi. *Seminar Master*, 4.
- Hidayat, A. A., Kholil, M., Hendri, & Suhaeri. (2018). The Implementation of FTA (Fault Tree Analysis) and FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Methods to Improve the Quality of

- Jumbo Roll Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/453/1/012019>
- Huda, A., & Widiyanesti, ; Sri. (2018). *Analisis Pengendalian Kualitas Proses Pengelasan (Welding) Dengan Pendekatan Six Sigma Pada Proyek PT. XYZ*. www.jurnal.uniga.ac.id
- Ilimi, N., & Lawi, A. (2022). Penerapan Metode Six Sigma dalam Menganalisis dan Menanggulangi Defect Rate pada Pengelasan Tubular. *Jurnal Teknik Industri (JURTI)*, 1(2), 128–137.
- J. Paul Guyer. (2017). *An Introduction to Welding Inspection (Welding Engineering)*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Kurniadi, F., Handoko, F., Priyasmanu, T., & Studi Teknik Industri S-, P. (2022). ANALISIS WELDING DEFECT"RATE DAN PENANGANANNYA DENGAN"METODE"SIX SIGMA"DAN FMEA (STUDI KASUS: PT. MEINDO ELANG INDAH, MUARA JAWA, KUTAI KARTANEGARA, KALTIM). *Jurnal Mahasiswa Teknik Industri*, 5(1).
- Mahajan, S., & Chhibber, R. (2020). Experimental investigations on P22/P91 dissimilar shielded metal arc welds for power plant applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 234(10), 1313–1324. <https://doi.org/10.1177/1464420720939115>
- Marsudi, S. (2021). ANALISA CACAT PENGELASAN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK PENGELASAN DOWN HAND PADA PELAT LAMBUNG (HULL) KAPAL. *JURNAL INOVASI SAINS DAN TEKNOLOGI KELAUTAN*, 2(1).
- Shania, M., Andryani, R. J., Jesselyn, C., & Nugraha, I. (2020). *ANALISIS TOTAL QUALITY CONTROL SEBAGAI UPAYA MEMINIMALISASI RESIKO KERUSAKAN PRODUK OTOMOTIF PADA PT. XYZ*.
- Sharma, A. (2022). *Joining Processes for Dissimilar and Advanced Materials* (P. Rakesh & D. P. Javim, Eds.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02577-6>
- Shukla, A. A., Joshi, V. S., Chel, A., & Shukla, B. A. (2018). Analysis of Shielded metal arc welding parameter on Depth of Penetration on AISI 1020 plates using Response surface methodology. *Procedia Manufacturing*, 20, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.035>
- U. Aschemeier. (2015). *Welding Inspection Handbook* (4 th). American Welding Society.
- Widharto, S. (2013). *Welding inspection*. Mitra Wacana Media.
- Wiyogo, S. &. (2020). IMPLEMENTASI MODEL PEMBELAJARAN PROBLEM SOLVING PADA MATA PELAJARAN TEKNIK PENGELASAN METAL INERT GAS DI SMK NEGERI 1 PALANGKA RAYA. In *Technology, Education And Mechanical Engineering* (Vol. 9, Issue 1).
- Zhang, H., Chen, Z., Zhang, C., Xi, J., & Le, X. (2019). Weld defect detection based on deep learning method. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2019-August*, 1574–1579. <https://doi.org/10.1109/COASE.2019.8842998>