

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting sebagai berikut:

1. Penyebab Kegagalan

Retakan yang ditemukan pada area *Heat Affected Zone (HAZ) back gouging* menunjukkan bahwa kegagalan terjadi akibat interaksi tiga faktor:

- Pembentukan mikrostruktur getas (martensit) akibat pendinginan cepat
- *Cleaning after gouging* yang tidak maksimal dilakukan
- Tegangan sisa pengelasan yang tinggi, serta
- *Fast Cooling* atau pendinginan cepat membuat *crack* dapat terjadi yang diakibatkan oleh *travel speed* yang terlalu cepat

Kombinasi keempat faktor tersebut menyebabkan HAZ menjadi sangat rentan terhadap inisiasi dan propagasi retakan

Kegagalan pada *telescopic cylinder* terbukti disebabkan oleh fenomena *Haz Crack* yang muncul di daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* sambungan las. Zona ini menjadi titik kritis karena mengalami perubahan mikrostruktur akibat paparan panas pengelasan

2. Hasil Observasi Visual dan *Non-Destructive Test (NDT)*

Observasi visual serta pengujian *Non-Destructive Testing (NDT)* menunjukkan bahwa retakan berawal dari HAZ dan berkembang hingga ke sub-permukaan material. Hal ini menandakan bahwa retakan tidak bersifat dangkal, melainkan telah mengalami propagasi lanjutan yang berpotensi melemahkan integritas komponen.

3. Parameter Pengelasan yang Tidak Sesuai WPS Berkontribusi Signifikan Terhadap Munculnya Retakan

Hasil *weld monitoring* menunjukkan bahwa beberapa sampel, khususnya *Body Serial Number 265* dan *268*, memiliki *travel speed* melebihi spesifikasi. *Travel speed* yang terlalu tinggi mengakibatkan:

- *Heat Input* menurun,
- Penetrasi las berkurang,
- Laju pendinginan meningkat, sehingga mikrostruktur HAZ menjadi lebih keras dan getas.

Kondisi ini sangat mendukung terbentuknya *Haz Crack*, yang sesuai dengan tingginya jumlah indikasi MPI pada kedua sampel tersebut.

4. Proses Back Gouging yang Tidak Optimal Meningkatkan Risiko Keretakan.

Meskipun *Air Carbon Arc Gouging (CAC-A)* efektif untuk menghilangkan cacat pada akar las, hasil penelitian menunjukkan bahwa:

- Terdapat *gouging marks* atau alur takik yang menjadi titik konsentrasi tegangan,
- Terdapat sisa *slag* maupun kontaminan lain akibat pembersihan yang kurang optimal.

Hal ini memperburuk kondisi HAZ dan mendukung terbentuknya retakan lanjutan saat dilakukan pengelasan berikutnya.

5. Macro Etching Memperjelas Cacat Pada Fusi dan Retakan Pada Fusion Line

Melalui *macro etching* dapat disimpulkan bahwa pada area *run-off plate* terdapat keretakan yang tidak dapat dideteksi oleh MPI, yang mana membuktikan bahwa *Non-Destructive Test* tambahan ini sangat bermanfaat untuk deteksi *linear crack* maupun *fusion line* yang tidak tampak.

5.2 Saran

1. Pengendalian Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) perlu dikontrol secara ketat untuk menghindari pendinginan yang terlalu cepat. Pengaturan arus, tegangan, kecepatan pengelasan, serta laju aliran gas pelindung harus dioptimalkan agar proses termal lebih stabil. Dengan demikian, risiko terbentuknya mikrostruktur getas di daerah HAZ dapat diminimalkan.

Hal ini mencakup:

- Memastikan *travel speed* berada dalam batas WPS,
- Mempertahankan *heat input* yang stabil,
- Memastikan *operator* mematuhi *Welding Procedure Specification* tanpa deviasi.
- Audit parameter secara *real-time* perlu dipertimbangkan menggunakan mesin yang mendukung *weld data logging*.

2. Proses *Back Gouging*

Proses *back gouging* sendiri perlu dikontrol secara ketat untuk menghindari cacat yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan selanjutnya.

Hal ini mencakup:

- Pengendalian kedalaman (*depth*) dari proses *back gouging*
- Pembuatan *groove* yang halus tanpa takik tajam
- Melakukan *grinding* ulang yang konsisten untuk membersihkan sisa *slag* yang tertinggal pada kampuh las.

3. Penerapan Pre-heat dan Post-Weld Heat Treatment (PWHT)

Penerapan *pre-heating* sebelum pengelasan dan *Post-Weld Heat Treatment* (PWHT) setelah pengelasan sangat disarankan. Langkah ini bertujuan untuk menurunkan tegangan sisa, mengurangi gradien termal yang tajam, serta menekan kemungkinan terbentuknya *Haz Crack*. Perlakuan panas pasca-las juga dapat memperbaiki sifat mekanik material dengan menstabilkan mikrostruktur.

4. Penggunaan MPI Setelah *Back Gouging*

Penerapan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) disarankan diwajibkan untuk dijadikan standar operasional yang mana langkah ini terbukti efektif untuk :

- Mendeteksi retakan sebelum pengelasan lanjutan,
- Mengurangi risiko *rework*,
- Mencegah cacat ditemukan sewaktu pada tahap UT,

5. Penelitian Lanjutan

Penelitian lanjutan disarankan mencakup analisis komposisi kimia material untuk memahami pengaruh unsur paduan terhadap pembentukan mikrostruktur di HAZ. Selain itu, pengujian *fatigue* perlu dilakukan guna mengevaluasi umur pakai komponen secara lebih realistis dalam kondisi operasi berulang. Hasil penelitian lanjutan ini akan memberikan dasar yang lebih kuat bagi perbaikan desain maupun proses manufaktur *Boom Structure*. Terutama:

- Uji kekerasan di HAZ
- Analisis fasa (martensit, ferrite, pearlite)
- Uji *Impact Charpy* untuk menilai ketangguhan sambungan
- Analisis tegangan menggunakan metode FEA

DAFTAR PUSTAKA

- Atmojo, E. I. D. (2020). *Analisa Daya Pompa Elevating Cylinder yang Dibutuhkan Sebagai Penggerak Telescopic Boom dengan Variasi Sudut Kerja 10 ° , 30 ° , 50 ° , 70 ° Pada Unit Truck Crane XCMG 25 Ton.*
- Daffa Sofyan Taruna, dkk. (2024). *Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Gouging Sambungan Pengelasan SMAW Pada Baja SS400 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Impak, dan Struktur Mikro. Jurnal Ilmiah Teknik Perkapalan 2338-0322.*
([https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval.](https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval))
- Feri Ardianto dan Ir. Sartono Putro, M.T (2019). *Analisa Kerusakan Sistem Hidraulik Pada Boom Cylinder Unit Excavator XGMA XG822EL.*
- Hareesha, N. G. (2017). *Kinematic and isotropic properties of excavator mechanism.* International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).
(<https://www.ijert.org/research/kinematic-and-isotropic-properties-of-excavator-mechanism-IJERTCONV3IS17016.pdf>)
- Iskandar, dkk. (2021). *Analisa Kerusakan Hidrolik Boom Cylinder Excavator Komatsu PC200-8 Dengan Menggunakan Metode FMEA. Jurnal Mesin Sains Terapan Vol 5 No 1, Februari Tahun 2021*
- Leonardo Pardede, dkk. (2015). *Analisa Perbandingan Sensitivitas Metode Magnetic 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. Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 4, No.1, (2015) 2337-3520*
- Miao X, et al. (2023). *Fatigue and post-fatigue static crack characterisation of a wrinkled thick glass fibre laminate in a composite wind turbine blade. International Journal of Fatigue (2023)176*

- Muhammad Saleem Khan, et al. (2023). *Selection of Joint Preparation Procedure based on Cost-effectiveness and Defects analysis of Double-V SMAW Joint.*
- Muhsin, dkk. (2024). *Pengaruh Perlakuan Normalizing pada Baja Karbon Menengah Setelah Proses Pengelasan SMAW terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro. Universitas Tridianti Palembang. Kohesi : J. Multidisiplin Saintek* 4(8):-.
(<https://ejournal.warunayama.org/kohesi>)
- Retak, K., Api, H. A. Z., & Steel, P. (2017). *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 5, No. 2, Tahun 2017 Online: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm> Kerentanan Retak dan Kekerasan.* 5(2), 137–142.
- Sutisna N. A. dan Azhar Z, (2021). *Analisis terhadap desain komponen boom pada mini excavator-Excava 50 menggunakan metode elemen hingga.*