

TUGAS SARJANA

**ANALISIS *CRACK* YANG TERJADI PADA SAMBUNGAN
PENGELASAN *BACK GOUGING* PADA *BOOM STRUCTURE*
DENGAN INSPEKSI *MAGNETIC PARTICLE TEST***

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Menyelesaikan Program Studi
Strata Satu (S-1) dalam Ilmu Teknik



Diajukan oleh:

APRIANSYAH SUTAN HASIBUAN

2410017211119

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA
PADANG
2025**

UNIVERSITAS BUNG HATTA

LEMBAR PENGESAHAN

**"ANALISIS CRACK YANG TERJADI PADA SAMBUNGAN PENGELASAN BACK
GOUGING PADA BOOM STRUCTURE DENGAN INSPEKSI
MAGNETIC PARTICLE TEST"**

*Diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian program S-1 Jurusan Teknik
Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta*

Oleh:

Anriansvah Sutan Hasibuan

2410017211119

Disetujui Oleh:

PEMBIMBING



Ir. Kaidir, M.Eng. IPM.

NIDN: 0003076301

DEKAN

KETUA

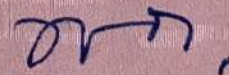
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK MESIN



Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, S.T., M.T.

NIDN.1012097403



Prof. Dr. Hendra Suherman, S.T., M.T.

NIDN.1001047101

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**"ANALISIS CRACK YANG TERJADI PADA SAMBUNGAN PENGELASAN
BACK GOUGING PADA BOOM STRUCTURE DENGAN INSPEKSI
MAGNETIC PARTICLE TEST"**

*Diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian program S-1 Jurusan Teknik
Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta*

Oleh:

Apriansyah Sutan Hasibuan
2410017211119

Disetujui Oleh:

**PEMBIMBING/
PENGUJI I**



Ir. Kaidir, M.Eng. IPM.

NIDN: 0003076301

PENGUJI I

Dr. Wenny Marthiana, M.T.

NIDN: 1030036801

PENGUJI II



Dr. Burmawi, S.T., M.Si.

NIDN: 0027126901

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan SKRIPSI ini dengan judul :

“ANALISIS CRACK YANG TERJADI PADA SAMBUNGAN PENGELASAN BACK GOUGING PADA BOOM STRUCTURE DENGAN INSPEKSI MAGNETIC PARTICLE TEST”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan dan memperoleh gelar kesarjanaan (Strata-1) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta Padang.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan serta pengarahan dari berbagai pihak, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

Bapak Ir. Kaidir, M.Eng (Pembimbing)

Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan membimbing penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

1. Kepada Bapak dan Ibu saya yang telah mendidik, membesarkan dan memberikan semua kasih sayangnya hingga saat ini, yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan dalam meraih setiap cita dan harapan.
2. Kepada Kakak dan Adik saya, terimakasih atas dukungan dan supportnya selama penulis melanjutkan perkuliahan ini.
3. Ibuk Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, ST. MT selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta.
4. Bapak Prof. Dr. Hendra S, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Bung Hatta.

5. Bapak/Ibu dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Bung Hatta, terkhususnya bapak/ibu dosen Jurusan Teknik Mesin RPL
6. Teman-teman jurusan Teknik Mesin regular yang telah banyak membantu urusan administrasi penulis.
7. Teman-teman Teknik Mesin RPL 2024 dari Teknik Mesin Polibatam, dan teman-teman kelas wali murid RPL Teknik Mesin yang telah banyak membantu dan mensupport dalam pelaksanaan perkuliahan selama 1.5 tahun lamanya ini.

Penulis telah berusaha melakukan yang terbaik dalam penulisan proposal ini namun penulis menyadari bahwasanya proposal ini masih jauh dari kesempurnaan dan keterbatasan yang ada dalam skripsi ini. Oleh karena itu sumbangan, gagasan, kritikan, saran dan masukan yang akan membangun, penulis dapat menerima dengan senang hati demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan sumbangan pengetahuan bagi pihak yang membutuhkan

Batam, 28 December 2025

Apriansyah Sutan Hasibuan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Boom</i> Pada Bagian <i>Excavator</i>	5
2.2 Dasar Teori Pengelasan	10
2.3 <i>Air Carbon Arc Gouging</i> dan Penjelasan	14
2.4 <i>Crack</i> pada <i>Welding</i>	15
2.4.1 Faktor-faktor Penyebab <i>Haz Crack</i>	17
2.4.2 Mekanisme Pembentukan <i>Haz Crack</i>	17
2.4.3 Metode Pencegahan <i>Haz Crack</i>	18
2.5 Metode Analisis.....	19
2.5.1 Observasi Visual	19
2.5.2 Pengujian <i>Non-Destructive Testing</i> (NDT) dengan MPI.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Jenis Penelitian	23
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.3 Objek Penelitian	24
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.5 Diagram Alur Penelitian.....	30
3.5.1 Pengumpulan Data Awal	31
3.5.2 Preparasi Sampel.....	31
3.5.3 Pengujian dan Analisis.....	32
3.5.4 Analisis Data.....	33

3.6 Waktu dan Jadwal Penelitian	34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Deskripsi Penelitian.....	35
4.2 Pengumpulan Data dan Hasil Penelitian	36
4.2.1 Observasi Hasil Visual	37
4.2.2 Observasi Hasil <i>Magnetic Particle Test</i>	39
4.2.3 Observasi Hasil <i>Macro Etchung</i>	43
4.2.4 Pembahasan Mekanisme Kegagalan Haz Crack.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Boom Structure	5
Gambar 2. 2 Technical Drawing Boom Structure 6015.....	6
Gambar 2. 3 Rear Boom.....	7
Gambar 2. 4 Center Boom	7
Gambar 2. 5 Front Boom	8
Gambar 2. 6 Hardware Parts	8
Gambar 2. 7 Mill Sheet	9
Gambar 2. 8 Weld Types	10
Gambar 2. 9 Defect yang terdapat Pada Las	13
Gambar 2. 10 Air Carbon Arc Gouging.....	14
Gambar 2. 11 HAZ Crack	15
Gambar 2. 12 Solidification Crack	15
Gambar 2. 13 Lamellar Tearing	16
Gambar 2. 14 Weld Decay	16
Gambar 2. 15 MPI After Back Gouging	21
Gambar 2. 16 Flux Leakage Phenomenon	22
Gambar 3. 1 Objek Penelitian	24
Gambar 3. 2 Mesin Las Miller Dimension NT 500	25
Gambar 3. 3 Portable Yoke DA400 Magnetic	26
Gambar 3. 4 Gerinda Tangan	26
Gambar 3. 5 White Contrast Paint & Magnetic Ink.....	27
Gambar 3. 6 Carbon Gouging Rod	27
Gambar 3. 7 Solid Wire ER70S-6 MIG	28
Gambar 3. 8 Bottom Plate Boom 6015	28
Gambar 3. 9 Diagram Alur.....	30
Gambar 4. 1 Retakan Yang Terjadi Pada Back Gouging.....	38
Gambar 4. 2 Hasil MPI	39
Gambar 4. 3 Defect Per Unit (DPU) Chart	40
Gambar 4. 4 Linear Indication & Rounded Indication	41
Gambar 4. 5 Defect Chart Summarize	42
Gambar 4. 6 Porosity	42
Gambar 4. 7 Layout Macro Etching.....	44
Gambar 4. 8 Hasil Macro Etching.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu & Jadwal Penelitian.....	34
Tabel 4. 1 WPS dan Actual Parameter Pada Setiap Sampel.....	41

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisis kegagalan retakan *Heat Affected Zone Crack (Haz Crack)* yang terjadi pada sambungan pengelasan *back gouging* pada *Boom Structure Excavator Hydraulic Mining Shovel 6015*. Komponen *boom* merupakan bagian struktur utama yang menerima beban kerja berulang, tekanan dinamis, dan kondisi lingkungan ekstrem sehingga sangat rentan mengalami kerusakan. Berdasarkan hasil inspeksi lapangan, ditemukan adanya indikasi retakan linier pada daerah HAZ setelah proses *back gouging*, yang kemudian berdampak pada penurunan integritas sambungan las, risiko kebocoran sistem hidrolik, serta potensi kegagalan struktural yang dapat mengganggu operasional alat berat. Tujuan utama penelitian ini adalah mengidentifikasi penyebab terbentuknya retakan Haz Crack, mengevaluasi kualitas preparasi kampuh setelah proses CAC-A (*Air Carbon Arc Gouging*), serta menilai efektivitas metode inspeksi non-destruktif *Magnetic Particle Inspection (MPI)* dalam mendeteksi cacat sebelum proses pengelasan ulang dilakukan. Penelitian ini juga bertujuan memberikan rekomendasi perbaikan prosedur pengelasan untuk meminimalkan risiko kerusakan berulang dan menurunkan potensi *downtime* operasional. Metode penelitian mencakup observasi visual pada area pengelasan, inspeksi MPI tipe *wet fluorescent* berdasarkan standar ASTM E1444, serta pengujian *macro etching* untuk mengevaluasi kualitas fusi antara logam induk dan logam las. Selain itu dilakukan analisis parameter pengelasan GMAW, mulai dari *travel speed*, arus, tegangan, hingga kualitas pembersihan kampuh setelah gouging. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar retakan berasal dari daerah HAZ akibat kombinasi pendinginan cepat, perubahan mikrostruktur menjadi martensit getas, serta keberadaan hidrogen yang terperangkap pada logam. Proses *back gouging* yang tidak konsisten juga menghasilkan alur kampuh yang kasar, meninggalkan *notch* tajam yang mempercepat inisiasi retak. Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa faktor dominan penyebab HAZ Crack meliputi mikrostruktur HAZ yang rapuh, tegangan sisa tinggi, dan prosedur gouging yang tidak optimal. Rekomendasi perbaikan meliputi kontrol ketat parameter GMAW, penerapan *preheat*, peningkatan standar kebersihan kampuh, serta wajibnya inspeksi MPI sebelum pengelasan ulang. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi bagi peningkatan kualitas pengelasan *boom structure* serta mencegah kegagalan berulang di masa mendatang

Kata Kunci: HAZ Crack, Back Gouging, Magnetic Particle Inspection, Macro Etching, Boom Structure, Kegagalan Pengelasan, Heat Affected Zone, Gas Metal Arc Welding

Abstract

This study focused on analyzing the failure of Heat Affected Zone Crack (HAZ Crack) occurring on the welded joint of the Boom Structure 6015 after the back-gouging process. The boom is a critical component of the Hydraulic Mining Shovel excavator, subjected to cyclic dynamic loads, high operational stress, and harsh environmental conditions, making it highly vulnerable to structural damage. Field inspection revealed linear crack indications around the HAZ region, which subsequently reduced weld integrity, increased the risk of hydraulic leakage, and potentially triggered structural failure that could disrupt heavy-equipment operation. The main objective of this research was to identify the root causes of Haz Crack formation, evaluate the quality of groove preparation after the Air Carbon Arc Gouging (CAC-A) process, and assess the effectiveness of Magnetic Particle Inspection (MPI) in detecting surface and sub-surface discontinuities prior to repair welding activities. The study further aimed to formulate technical recommendations to improve welding procedures, reduce repeated failures, and minimize operational downtime. The methodology consisted of visual inspection, wet-fluorescent MPI testing following ASTM E1444 standards, and macro-etching to examine weld fusion quality. Additionally, welding parameters in the GMAW process such as current, voltage, travel speed, heat input, and groove cleanliness were analyzed to determine their contribution to crack initiation. Results indicated that most cracks originated from the HAZ due to rapid cooling, brittle martensitic transformation, residual stresses, and hydrogen entrapment within the weld joint. Inconsistent gouging practices created rough grooves and sharp notches, which further accelerated crack initiation. The study concluded that brittle HAZ microstructure, high residual stress, and improper gouging technique were the dominant factors contributing to Haz Crack. Recommended improvements include strict control of GMAW parameters, implementation of pre-heating, enhanced groove-cleaning standards, and mandatory MPI inspection before re-welding. These findings are expected to serve as a technical reference for improving welding quality and preventing recurring structural failure in boom components.

Keywords: HAZ Crack, Back Gouging, Magnetic Particle Inspection, Macro Etching, Boom Structure, Weld Failure, HAZ, Gas Metal Arc Welding.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Boom merupakan bagian yang paling penting pada *Hydraulic Mining Shovel Excavator*. *Boom* merupakan suatu lengan besar yang terhubung langsung ke pada *excavator* dan memiliki fungsi untuk mengayunkan *arm* lebih jauh lagi sehingga jangkauan gerak *bucket* dalam posisi maksimal dengan memanfaatkan oli hidrolis. *Boom* akan mengalami penurunan performa kerja jika terdapat kerusakan pada *inner parts* maupun *outer parts* nya. (Iskandar et al.,2021)

Kualitas pengelasan pada *boom* sangat dituntut untuk memenuhi aspek keamanan dan kekuatan pada saat *Hydraulic Mining Shovel* mengalami pergerakan. Kualitas pengelasan *back gouging* pada *boom* sangat perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi kekuatan dan ketahanan *boom* pada area yang *critical* terutama pada *bottom area boom*. Proses *back gouging* sangat perlu diperhatikan karena fusi dari kedua *joint* yang dipertemukan harus benar benar bersih dan tidak ada kotoran maupun *welding defect* dari proses *root* pengelasan sebelumnya, dengan cara melakukan penambahan inspeksi yaitu *Magnetic Particle Test*. Tujuan utama penulis melakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan kualitas dari preparasi *back gouging* sebelum dilakukan pengelasan lagi dengan menggunakan metode pengecekan *Magnetic Particle Test*. Hasil analisa menunjukkan bahwa proses pengecekan *back gouging* dengan metode *Magnetic Particle Test* merupakan solusi untuk meningkatkan kualitas dari hasil pengelasan, dikarenakan dengan adanya pengecekan pada preparasi *back gouging* dapat mengetahui apa saja cacat las yang masih tersisa dari hasil pengelasan sebelumnya. Proses *back gouging* sendiri dilakukan menggunakan *Air Carbon Arc Gouging* yang telah diteliti

pada sisi kualitas dan juga biaya sebagai prosedur pilihan terbaik pada proses industri. (Muhammad Saleem Khan et al. 2023)

Di berbagai sektor industri seperti konstruksi, pertambangan, dan perkebunan, sistem hidrolik berfungsi sebagai penggerak utama alat berat. Dari sekian banyak komponen pada sebuah *excavator*, komponen *boom* adalah komponen yang sangat vital karena mendukung seluruh beban kerja pada saat beroperasi. (Sutisna N.A., 2021)

Mengingat beban kerja yang berat, kondisi lingkungan yang ekstrem, serta siklus operasi yang berulang, *boom* rentan mengalami berbagai jenis kegagalan. Salah satu bentuk kegagalan yang sering terjadi dan memiliki dampak serius adalah retakan, khususnya *Heat Affected Zone Crack* atau yang dikenal sebagai *Haz Crack*. *Haz Crack* adalah retakan yang terbentuk di daerah yang terkena panas akibat proses pengelasan (HAZ), namun tidak meleleh selama proses tersebut. Retakan ini dapat muncul segera setelah pengelasan atau setelah periode waktu tertentu selama operasi, dipicu oleh kombinasi faktor seperti tegangan sisa pengelasan, mikrostruktur yang rentan, keberadaan hidrogen, dan beban eksternal. (Retak et al., 2017)

Kegagalan *Haz Crack* pada *boom* dapat menyebabkan kebocoran fluida hidrolik, penurunan performa alat berat, bahkan kegagalan struktural yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja fatal. Dampak finansial dari kegagalan ini juga tidak sedikit, meliputi biaya perbaikan yang tinggi, kehilangan waktu produksi (*downtime*), dan kerugian reputasi perusahaan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang karakteristik, faktor penyebab, dan mekanisme kegagalan *Haz Crack* pada *Boom Structure* alat berat menjadi sangat penting. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya pencegahan dan mitigasi kegagalan serupa di masa mendatang, sehingga meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional alat berat (Retak et al., 2017)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor-faktor apa saja yang berkontribusi terhadap terjadinya *Haz Crack* pada *boom structure*, terutama pada bagian pengelasan setelah dilakukan proses *back gouging*?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan *Haz Crack* pada *boom structure* terutama pada *bottom weld joint*?
3. Bagaimana proses pengecekan menggunakan *Magnetic Particle Inspection* untuk mendeteksi *crack* yang terjadi pada preparasi pengelasan setelah dilakukan *back gouging*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan fokus, maka batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada analisis *Haz Crack* pada *boom structure* yang diambil dari satu jenis alat berat (*excavator*) yang mengalami kegagalan di area preparasi sambungan las.
2. Analisis material difokuskan pada daerah preparasi setelah dilakukan proses *back gouging* pada pelat
3. Metode analisis yang digunakan meliputi observasi visual dan juga proses *Magnetic Particle Inspection*
4. Penelitian tidak mencakup simulasi numerik atau pengujian *fatigue*.
5. Pada penelitian ini proses pengelasan digunakan menggunakan proses *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).
6. Proses *back gouging* yang dilakukan mengarah pada satu proses saja, yaitu *Air Carbon Arc Gouging*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui apa saja penyebab terjadinya *Haz Crack* pada *Boom Structure* terutama pada area preparasi setelah dilakukannya *back gouging* berdasarkan hasil pengujian visual dan *magnetic particle test*.
2. Mencegah cacat yang seharusnya bisa dideteksi sewaktu proses *back gouging* sehingga tidak berdampak pada proses selanjutnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan pemahaman mendalam mengenai fenomena *Haz Crack* pada komponen vital alat berat, terutama pada bagian *boom* serta meningkatkan kemampuan dalam melakukan analisis kegagalan material.
2. Memberikan informasi yang berharga sebagai dasar untuk perbaikan prosedur pengelasan, pemilihan material, serta strategi penanggulangan preventif pada preparasi pengelasan *boom structure*, sehingga dapat mengurangi risiko kegagalan *Haz Crack* dan meningkatkan produktivitas operasional alat berat.
3. Menambah khazanah literatur dan referensi di bidang teknik material dan teknik mesin, khususnya terkait analisis kegagalan pada komponen yang menggunakan proses pengelasan.
4. Mencegah terjadinya *defect* tambahan yang nantinya bisa terjadi dan dapat di deteksi pada proses selanjutnya yaitu *Ultrasonic Testing*.
5. Mengakomodir hasil pengelasan yang *free of defect* yang mana nantinya bisa berdampak pada penghematan biaya yang dapat terjadi akibat proses *rework*.