

**TESIS**

**OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING*  
*TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR***



**REFDINAL LATIF HENDRYANTO  
NIM. 03032622327001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

TESIS

**OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING*  
*TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR***

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister  
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH  
REFDINAL LATIF HENDRYANTO  
NIM. 03032622327001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING***  
***TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR***

**TESIS**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik Mesin  
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

**Oleh:**  
**REFDINAL LATIF HENDRYANTO**  
**NIM. 03032622327001**

Palembang, Desember 2024

Menyetujui,  
Pembimbing I



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197909272003121004

Pembimbing II,



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya



Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.  
NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197909272003121004

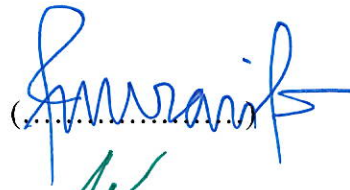
## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “**OPTIMASI PROSES HEAT TREATMENT BUSHING TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR**” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal November 2024.

Palembang, Desember 2024.

### Pembimbing

1. Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.  
NIP. 197909272003121004



(.....)

2. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002



(.....)

### Tim Penguji

1. Barlin, S.T, M.Eng, Ph.D.  
NIP. 198106302006041001



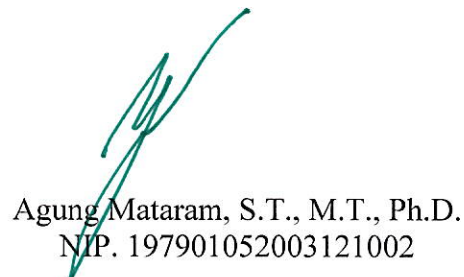
(.....)

2. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001



(.....)

Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :  
Diterima Tanggal :  
Paraf :

---

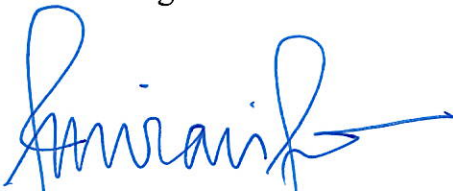
---

TESIS

NAMA : REFDINAL LATIF HENDRYANTO  
NIM : 03032622327001  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
BIDANG STUDI : TEKNIK MATERIAL DAN  
MANUFAKTUR  
JUDUL : OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT*  
*BUSHING TRACKPLATE BUCKET WHEEL*  
*EXCAVATOR*  
DIBUAT TANGGAL : 20 NOVEMBER 2023  
SELESAI TANGGAL : 24 OKTOBER 2024

Palembang, Desember 2024

Menyetujui  
Pembimbing I



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197909272003121004

Pembimbing II



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197909272003121004

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Refdinal Latif Hendryanto

NIM : 03032622327001

Judul : OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING*  
*TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2024



Refdinal Latif Hendryanto  
NIM. 03032622327001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Refdinal Latif Hendryanto

NIM : 03032622327001

Judul : OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING*  
*TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR*

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2024



Refdinal Latif Hendryanto  
NIM. 03032622327001

## RINGKASAN

### OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING TRACKPLATE BUCKET WHEEL EXCAVATOR*

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 24 Oktober 2024

Refdinal Latif Hendryanto; Dibimbing oleh Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.<sup>1)</sup>, dan Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.<sup>2)</sup>

Optimization of Heat Heat Treatment Process for Trackplate's Bushing of Bucket Wheel Excavator.

xiv + 65 Halaman, 17 Tabel, 19 Gambar, 5 Lampiran

### RINGKASAN

Penelitian ini menyelidiki peningkatan kekerasan material *bushing trackplate Bucket Wheel Excavator (BWE)* berbahan AISI 4340 melalui optimasi proses perlakuan panas (*heat treatment*) menggunakan pendekatan metode *Taguchi*. Mengingat bahwa *bushing trackplate* dalam aplikasi penambangan memerlukan kekerasan yang optimal untuk memenuhi spesifikasi kinerja dalam menahan beban dinamis dan gesekan, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh parameter *heat treatment* termasuk media *quenching*, suhu *austenitizing*, waktu *austenitizing* dan waktu *tempering* terhadap kekerasan material. Data eksperimen menunjukkan bahwa perlakuan panas yang diterapkan berhasil dengan mengaplikasikan parameter optimal, yaitu media *quenching* air garam, suhu *austenitizing* 925°C, waktu *austenitizing* 35 menit dan waktu *tempering* 2,5 jam, nilai rata – rata awal 33,9 HRC naik hingga mencapai 56,9 HRC, nilai tersebut mencerminkan peningkatan signifikan sebesar 67,84% dibandingkan dengan kondisi sebelum mengalami perlakuan panas. Hasil ini mengindikasikan bahwa proses *heat treatment* yang dioptimalkan melalui desain eksperimen *Taguchi* secara efektif meningkatkan kekerasan *bushing trackplate*, sehingga memenuhi spesifikasi kinerja yang dibutuhkan dalam kondisi operasional yang dinamis.

Kata Kunci: *Bucket Wheel Excavator, Bushing trackplate, AISI 4340, perlakuan panas, metode Taguchi, peningkatan kekerasan.*



## SUMMARY

### OPTIMIZATION OF THE HEAT TREATMENT PROCESS FOR THE TRACKPLATE'S BUSHING OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR

Scientific Paper in the form of Tesis 24<sup>th</sup> October 2024

Refdinal Latif Hendryanto; Supervised by Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.<sup>1)</sup>, and Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.<sup>2)</sup>

*Optimasi Proses Heat Treatment Bushing Trackplate Bucket Wheel Excavator*

xiv + 65 Pages, 17 Tables, 19 Pictures, 5 Attachments

#### SUMMARY

This research investigates the increase in hardness of the bushing trackplate material of Bucket Wheel Excavators (BWE) made from AISI 4340 through the optimization of heat treatment processes using the Taguchi method. Considering that the bushing trackplate in mining applications requires optimal hardness to meet performance specifications for withstanding dynamic loads and friction, this study is designed to evaluate the effects of heat treatment parameters including quenching media, austenitizing temperature, austenitizing time, and tempering time on material hardness. Experimental data show that the applied heat treatment was successful by using optimal parameters: saltwater quenching media, austenitizing temperature of 925°C, austenitizing time of 35 minutes, and tempering time of 2.5 hours. The average hardness increased from an initial value of 33.9 HRC to 56.9 HRC, reflecting a significant increase of 67.84% compared to the condition prior to heat treatment. These results indicate that the optimized heat treatment process through Taguchi experimental design effectively enhances the hardness of the bushing trackplate, thus meeting the required performance specifications under dynamic operational conditions.

**Keywords:** Bucket Wheel Excavator, trackplate's bushing, AISI 4340, heat treatment, Taguchi method, hardness increase.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini yang disusun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan Magister Jurusan Teknik Mesin pada Universitas Sriwijaya. Dalam proses penyelesaian tesis ini, saya memperoleh berbagai bantuan, dukungan serta saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc., Direktur Program Pascasarjana.
4. Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. IPP., Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Pembimbing Tesis I.
5. Bapak Agung Mataram, ST, MT, Ph.D., Ketua Program Studi Teknik Mesin Pascasarjana dan Pembimbing Tesis II.
6. Barlin, S.T, M.Eng, Ph.D., Penguji Tesis I.
7. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T., Penguji Tesis II.
8. Teman-teman Teknik Mesin Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
9. Rekan-rekan dari PT Bukit Asam Tbk yang mendukung dan selalu memberikan bantuan selama penyelesaian tesis ini.
10. Bapak, Ibu, Keluarga yang selalu mendoakan kelancaran sepanjang proses perkuliahan.

Saya menyadari bahwa pada tesis ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, sangat diharapkan adanya petunjuk dan saran yang membangun dari semua pihak untuk perbaikan laporan ini supaya lebih sempurna. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat, pengetahuan serta informasi bagi yang memerlukan.

Palembang, Desember 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>Bucket Wheel Excavator</i> .....	5
2.1.1 <i>Trackplate BWE</i> .....	5
2.1.2 <i>Bushing Trackplate BWE</i> .....	6
2.2 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ).....	7
2.2.1 Pemanasan ( <i>Heating</i> ) .....	12
2.2.2 Pendinginan Cepat ( <i>Quenching</i> ) .....	14
2.2.3 <i>Tempering</i> .....	18
2.3 <i>Laser-Induced Breakdown Spectroscopy</i> .....	20
2.4 <i>Hardness Tester Rock Well Type</i> .....	21
2.5 Metode <i>Taguchi</i> .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 Metoda Penelitian .....	26
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian .....	26
3.4 Sampel Penelitian.....	26
3.5 Variabel Penelitian .....	28
3.6 Prosedur Pengambilan Data .....	29
3.7 Pengolahan Data .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Uji Komposisi Material .....	31
4.2 Proses Perlakuan Panas dan Tingkatan Faktornya.....	33
4.3 Pengujian Kekerasan.....	37

4.3.1 Pengujian Kekerasan Sebelum <i>Heat Treatment</i> .....	39
4.3.2 Pengujian Kekerasan Setelah <i>Heat Treatment</i> .....	40
4.4 Analisa Taguchi .....	44
4.4.1 Analisis Rasio Sinyal terhadap <i>Noise (S/N)</i> .....	44
4.4.2 Analisis Rata-Rata Kekerasan.....	47
4.4.3 Verifikasi Pengujian Kekerasan Untuk Rekomendasi Parameter Optimal.....	51
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Rekomendasi .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
<b>LAMPIRAN</b> .....	60
LAMPIRAN I Hasil verifikasi komposisi <i>material bushing</i> <i>trackplate</i> menggunakan LIBS <i>Analyzer</i> .....	60
LAMPIRAN II Hasil analisis S/N ( <i>Software MiniTab</i> ).....	60
LAMPIRAN III Hasil analisis untuk Rata – rata Kekerasan ( <i>Software MiniTab</i> ).....	60
LAMPIRAN IV Gambar Dokumentasi Proses <i>Heat Treatment</i> .....	61
LAMPIRAN V Gambar Dokumentasi Proses Pengujian Kekerasan	64

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2-1 Skala Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	22
3-1 <i>Orthogonal Taguchi</i> untuk 4 Faktor (Media <i>Quenching</i> , Suhu <i>austenitizing</i> , Waktu <i>austenitizing</i> , Waktu <i>tempering</i> ) dan 3 Level .....	27
3-2 Data Komposisi Material <i>Bushing Trackplate BWE</i> .....	28
3-3 Data Parameter <i>Heat Treatment</i> .....	28
3-4 Data Parameter Pengujian Kekerasan.....	28
4-1 <i>Material Report Bushing Trackplate BWE</i> .....	31
4-2 <i>Heat treatment Process Parameters and Their Levels</i> .....	33
4-3 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Bushing Trackplate BWE</i> setelah <i>Heat Treatment</i> .....	40
4-4 <i>Estimated Model Coefficients for S/N Ratios</i> .....	44
4-5 <i>Analysis of Variance for SN ratios</i> .....	45
4-6 Hasil eksperimen dengan Rasio S/N.....	45
4-7 <i>Response Table for S/N Ratios</i> .....	46
4-8 <i>Estimated Model Coefficients for Means</i> .....	48
4-9 <i>Analysis of Variance for Mean</i> .....	48
4-10 <i>Response Table for S/N Ratios</i> .....	49
4-11 Hasil Pengujian Verifikasi Kekerasan .....	52
4-12 <i>Analysis of Variance for Mean</i> .....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2-1 <i>Bucket Wheel Excavator</i> .....	5
2-2 <i>Trackplate Bucket Wheel Excavator</i> .....	5
2-3 <i>Bushing Trackplate Bucket Wheel Excavator (BWE)</i> .....	6
2-4 <i>Diagram Fe-C</i> .....	7
2-5 <i>Time, Temperature and Transformation Diagram</i> .....	13
2-6 <i>Continuous Cooling Transformation (CCT) Diagram</i> .....	15
2-7 <i>Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) Analyzer</i> .....	21
2-8 <i>Hardness Tester Rock Well Type</i> .....	22
3-1 <i>Diagram Alir Penelitian</i> .....	25
3-2 <i>Desain Metoda Penelitian Taguchi</i> .....	26
3-3 <i>Grafik Parameter Heat Treatment</i> .....	27
4-1 <i>Komposisi Material Bushing Trackplate</i> .....	31
4-2 <i>Desain Eksperimental L9 (3<sup>4</sup>) Heat Treatment Bushing Trackplate BWE</i> .....	36
4-3 <i>Perbandingan Waktu Austenitizing</i> .....	37
4-4 <i>Perbandingan Waktu Tempering (jam)</i> .....	37
4-5 <i>Layout Posisi Pengujian Kekerasan Bushing Trackplate BWE</i> .....	38
4-6 <i>Hasil Pengujian Kekerasan Bushing Trackplate BWE sebelum Heat Treatment</i> .....	39
4-7 <i>Grafik Main Effects &amp; Interaction Plot for SN Ratios</i> .....	47
4-8 <i>Grafik Main Effects &amp; Interaction Plot for Mean</i> .....	50

# OPTIMASI PROSES *HEAT TREATMENT BUSHING TRACKPLATE* *BUCKET WHEEL EXCAVATOR*

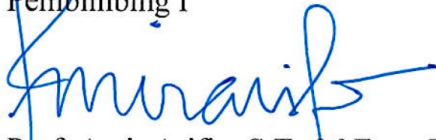
Refdinal Latif Hendryanto<sup>1</sup>, Amir Arifin,<sup>1</sup> Agung Mataram<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

## ABSTRAK

Penelitian ini menyelidiki peningkatan kekerasan material *bushing trackplate* *Bucket Wheel Excavator (BWE)* berbahan AISI 4340 melalui optimasi proses perlakuan panas (*heat treatment*) menggunakan pendekatan metode *Taguchi*. Mengingat bahwa *bushing trackplate* dalam aplikasi penambangan memerlukan kekerasan yang optimal untuk memenuhi spesifikasi kinerja dalam menahan beban dinamis dan gesekan, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh parameter *heat treatment* termasuk media *quenching*, suhu *austenitizing*, waktu *austenitizing* dan waktu *tempering* terhadap kekerasan material. Data eksperimen menunjukkan bahwa perlakuan panas yang diterapkan berhasil dengan mengaplikasikan parameter optimal, yaitu media *quenching* air garam, suhu *austenitizing* 925°C, waktu *austenitizing* 35 menit dan waktu *tempering* 2,5 jam, nilai rata – rata awal 33,9 HRC naik hingga mencapai 56,9 HRC, nilai tersebut mencerminkan peningkatan signifikan sebesar 67,84% dibandingkan dengan kondisi sebelum mengalami perlakuan panas. Hasil ini mengindikasikan bahwa proses *heat treatment* yang dioptimalkan melalui desain eksperimen *Taguchi* secara efektif meningkatkan kekerasan *bushing trackplate*, sehingga memenuhi spesifikasi kinerja yang dibutuhkan dalam kondisi operasional yang dinamis.

**Kata kunci:** *Bucket Wheel Excavator, Bushing trackplate, AISI 4340, perlakuan panas, metode Taguchi, peningkatan kekerasan.*

Pembimbing I



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.  
NIP. 97909272003121004

Pembimbing II



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197901052003121002

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

# OPTIMIZATION OF THE HEAT TREATMENT PROCESS FOR THE TRACKPLATE'S BUSHING OF BUCKET WHEEL EXCAVATOR

Refdinal Latif Hendryanto<sup>1</sup>, Amir Arifin,<sup>1</sup> Agung Mataram<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Sriwijaya University, Indralaya 30662, Ogan Ilir, South Sumatera, Indonesia.

## ABSTRACT

This research investigates the increase in hardness of the bushing trackplate material of Bucket Wheel Excavators (BWE) made from AISI 4340 through the optimization of heat treatment processes using the Taguchi method. Considering that the bushing trackplate in mining applications requires optimal hardness to meet performance specifications for withstanding dynamic loads and friction, this study is designed to evaluate the effects of heat treatment parameters including quenching media, austenitizing temperature, austenitizing time, and tempering time on material hardness. Experimental data show that the applied heat treatment was successful by using optimal parameters: saltwater quenching media, austenitizing temperature of 925°C, austenitizing time of 35 minutes, and tempering time of 2.5 hours. The average hardness increased from an initial value of 33.9 HRC to 56.9 HRC, reflecting a significant increase of 67.84% compared to the condition prior to heat treatment. These results indicate that the optimized heat treatment process through Taguchi experimental design effectively enhances the hardness of the bushing trackplate, thus meeting the required performance specifications under dynamic operational conditions.

**Keywords:** Bucket Wheel Excavator, trackplate's bushing, AISI 4340, heat treatment, Taguchi method, hardness increase.

Pembimbing I

Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.  
NIP. 97909272003121004

Pembimbing II

Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Mesin

Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Bucket Wheel Excavator (BWE)* merupakan sebuah perangkat alat berat kompleks, yang didesain secara khusus untuk ekskavasi dan transportasi material di atas permukaan tanah atau endapan terbuka pada operasi penambangan terbuka. Dalam konteks industri pertambangan, *Bucket Wheel Excavator* menjadikannya perangkat alat berat skala besar, yang dapat beroperasi lebih efisien dibandingkan dengan perangkat alat berat lainnya, sehingga *BWE* digunakan sebagai solusi ekskavasi pada operasi penambangan terbuka saat ini (Milenović et al., 2022).

Sejarah penemuan *BWE* diawali sekitar tahun 1920-an di Jerman. Selanjutnya sekitar tahun 1960-an, perancangan *BWE* mencapai bentuk modern, produsen terkemuka seperti *Thyssen Krupp* dan *Komatsu* terlibat dalam produksi *BWE*. Desain *BWE* menjadi lebih praktis, kapasitas produksi mengalami peningkatan, dan fitur-fitur canggih dirancang untuk meningkatkan kinerja dan daya tahan material tersebut. Hingga abad ke-21, inovasi desain dan teknologi *BWE* terus dikembangkan. Penerapan sistem kontrol otomatis, teknologi sensor, dan material yang lebih tahan aus menjadi fokus pengembangan untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan daya tahan (Vulovic et al., 2023).

Kelebihan penggunaan *BWE* dalam operasi penambangan terbuka mencakup kapasitas produksi tinggi, efisiensi dalam operasional, serta fleksibilitas dalam mengekstraksi material. Sementara kelemahannya, mencakup biaya investasi awal tinggi dan kebutuhan akan perawatan khusus (Hendryanto et al., 2023).

Dalam konteks *BWE*, salah satu komponen penyusun alat berat *BWE* yang krusial adalah *Trackplate*, khususnya *bushing trackplate*. *Bushing* ini berfungsi sebagai penghubung antar *trackplate* dan bagian bawah rangka *BWE*, yang dirancang untuk menjaga stabilitas, memfasilitasi mobilitas, dan ketahanan dalam kondisi penambangan yang berat. *Trackplate* harus mampu mendistribusikan beban dengan merata. Penggunaan *trackplate* yang terus-menerus, dapat mengakibatkan menurunnya fungsi kerja *trackplate* seperti timbulnya keausan, kerusakan struktural, dan potensi kehilangan fungsi penghubung antar komponen. Oleh

karenanya, sifat fisik *trackplate* seperti kekerasan menjadi sangat krusial, untuk memastikan daya tahannya terhadap tekanan, gesekan, dan keausan. Pemilihan material dengan sifat kekerasan yang tepat menjadi sangat esensial.

Fokus penelitian pada *bushing trackplate* menjadi prioritas utama untuk optimalisasi fungsi kerja *BWE*. Hasil penelitian ini diharapkan memiliki potensi untuk memberikan kontribusi positif pada efisiensi dan daya tahan operasional penggunaan *BWE* dalam industri pertambangan.

Penelitian sebelumnya berhasil mengidentifikasi adanya energi yang hilang dalam sistem propulsi kendaraan beroda rantai tinggi disebabkan oleh rotasi dan deformasi tarik-kompresi dari *bushing* di antara pin *track* dan plate *track* (B. Chen et al., 2019). Penelitian lainnya diperoleh informasi bahwa *Surface hardening* sangat penting dalam industri untuk memastikan operasionalitas suku cadang dalam kondisi gesekan dan aus, dan juga dapat meningkatkan daya tahan dan ketahanan aus lapisan kerja dan permukaan produk. Penting untuk meningkatkan proses teknologi pembuatan suku cadang dengan mengembangkan metode baru *surface hardening* yang secara signifikan dapat meningkatkan daya tahan lapisan kerja dan permukaan suku cadang dengan percepatan dan penyederhanaan teknologi (No Title, 2020). Penelitian lainnya, melibatkan variasi parameter proses Dpencetakan 3D, seperti suhu pencetakan dan kecepatan laser, untuk memahami bagaimana perubahan ini dapat mempengaruhi sifat mekanis dan mikrostruktur (Jirková & Ku, 2022). Penelitian lainnya menginformasikan bahwa eksplorasi efek perlakuan panas pada baja EN8, di sektor-sektor kritis seperti pembangkit listrik, otomotif, dan kedirgantaraan. Dibandingkan dengan baja EN9, baja EN8 yang telah mengalami *hardening* dan *tempering* memiliki kekerasan, batas elastis, kekuatan tarik *ultimate*, dan pemanjangan yang lebih baik. Diperoleh informasi bahwa dengan perlakuan panas yang sesuai, baja EN8 dapat mencapai tingkat kekerasan dan *ductility* yang optimal, sehingga dianggap sebagai pengganti potensial untuk baja EN9 dalam aplikasi masa depan (Chandran & Udhayaraj, 2022).

Penelitian lainnya berfokus pada efek *preheating* dan *heat treatment* terhadap *microhardness* dari *composite resin nanohybrid*. Uji ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan dalam *microhardness* antar kelompok ( $p < 0,005$ ), pengaruh yang signifikan dari *preheating* dan *heat treatment* (Gigi, 2020). Penelitian lainnya

mengungkapkan bahwa penggunaan *ultrasonic probe agitator* berhasil mengurangi penggumpalan MWCNTs, dan menghasilkan dispersi yang lebih seragam. Teknik ini dapat meningkatkan distribusi MWCNTs dalam komposit (Gigi, 2020).

Berdasarkan hasil analisis dari penelitian-penelitian sebelumnya diperoleh informasi bahwa penelitian tidak memberikan informasi yang cukup tentang bagaimana menentukan suhu optimal untuk restorasi *bushing* atau komponen lainnya. Penelitian tidak memperhitungkan kekerasan *bushing* dan pin yang berdampak pada keausan, dan tidak membahas optimalisasi perlakuan panas untuk menghindari resiko keausan pin dan *bushing* (B. Chen et al., 2019). Penelitian juga tidak menjelaskan secara spesifik komponen suku cadang *bushing* (No Title, 2020). Peningkatan efisiensi proses dan optimalisasi *heat treatment annealing*, tidak mencakup *hardening* (Jirková & Ku, 2022). Oleh karenanya diperlukan studi lebih lanjut untuk mengidentifikasi kondisi optimal *heat treatment* yang dapat memberikan *microhardness* maksimal, termasuk variasi suhu dan durasi perlakuan (Gigi, 2020).

Penelitian yang telah dilakukan, mengacu pada analisis dan perlakuan pada *bushing trackplate BWE*, yang berkaitan dengan efek perlakuan panas terhadap sifat-sifat mekanis, terutama pada kekerasan yang berdampak pada ketahanan aus dari *bushing trackplate*. Analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan keberlanjutan operasi *BWE* dalam industri penambangan terbuka. Metode *Taguchi* digunakan sebagai pendekatan statistik untuk perbaikan kualitas dan optimasi proses perlakuan panas serta untuk merancang eksperimen yang efisien, serta mengidentifikasi parameter-proses yang paling berpengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Teknologi *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)* digunakan juga sebagai metode analisis kimia non-destruktif untuk mengidentifikasi komposisi kimia dari *material bushing trackplate*.

## 1.2 Rumusan dan Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan hasil analisis dari penelitian sebelumnya, maka rumusan masalah penelitian ini:

1. Mengapa penting untuk melakukan pengerasan pada *bushing trackplate*?

2. Bagaimana kombinasi parameter dapat meningkatkan efisiensi proses deformasi *pengerasan bushing trackplate* sehingga kualitas hasil akhirnya optimal?

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu digunakannya metode pengujian *Rockwell* sebagai alat uji kekerasan, metode *Taguchi* untuk perbaikan kualitas dan optimasi proses, dengan desain *orthogonal* arraynya digunakan untuk mengatur dan mengoptimalkan pengambilan sampel *bushing trackplate BWE*. Perlakuan *heat treatment* untuk meningkatkan kekuatan mekanis material. Prosedur *LIBS* serta analisis lainnya hanya sebagai pendukung data dalam penelitian ini, bukan sebagai fokus utama.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Menentukan kombinasi parameter optimum dalam proses pengerasan *bushing trackplate* supaya kualitas hasil akhir *bushing trackplate* dapat dimanfaatkan secara optimum.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat secara signifikan, terutama dalam konteks industri penambangan terbuka dan penggunaan *Bucket Wheel Excavato*

## DAFTAR PUSTAKA

- Baghel, M., Namdev, A., & Yadav, Y. K. (2023). *Optimization of heat treatment parameters using Taguchi method to improve compressive strength of MWCNTs / Al6082 composites.* January. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.221>
- Bošnjak, S., & Gnjatović, N. (n.d.). *Bucket Wheel Excavators : Balancing and Dynamic Response of the Slewing Superstructure.*
- Budiarti, G. I. (n.d.). *Operasi Perpindahan Massa dan Panas.*
- Bulletin, I., & Applied, O. F. (n.d.). *Steps of optimization of mining and loading processes of excavators in open-pit mining.* 114–120.
- Cam, C. A. D. (2019). *Analisis pengaruh variasi parameter strategy machining terhadap kekasaran permukaan material mild steel.*
- Chandran, R., & Udhayaraj, S. (2022). *Effect of the Heat-Treatment Process on the Mechanical and Microstructure Properties of EN8 Steel.* 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.4018/IJSEIMS.313628>
- Chang, Z. Y., Li, Y. J., & Wu, D. (2020). *Materials Science & Engineering A Enhanced ductility and toughness in 2000 MPa grade press hardening steels by auto-tempering.* 784(February). <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139342>
- Chen, B., Zhang, L., Feng, Z., Du, Y., Mo, W., & Tamma, K. K. (2019). *Comparative experimental and numerical study on energy consumption of track-pin rubber bushing for high-speed tracked vehicles.* <https://doi.org/10.1177/0954407018825069>
- Chen, K., Jiang, Z., Liu, F., Li, H., Ma, X., & Zhao, B. (2020). *Materials Science & Engineering A Enhanced mechanical properties by retained austenite in medium – carbon Si-rich microalloyed steel treated by quenching – tempering , austempering and austempering – tempering processes.* *Materials Science & Engineering A*, 790(June), 139742. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139742>
- Espino, M. T., Tuazon, B. J., Robles, G. S., Ryan, J., & Dizon, C. (2020). *Application of Taguchi Methodology in Evaluating the Rockwell Hardness of*

- SLA 3D Printed Polymers Application of Taguchi Methodology in Evaluating the Rockwell Hardness of SLA 3D Printed Polymers. August.*  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1005.166>
- Gigi, M. K. (2020). *The different effects of preheating and heat treatment on the surface microhardness of nanohybrid resin composite.* 6(32), 6–9.  
<https://doi.org/10.20473/j.djmk.v53.i1.p6>
- Hendryanto, R. L., Hendryanto, R. Y., & Basri, H. (2023). *Penerapan Metoda RCM Dan Analisis FMECA Untuk Menentukan Interval Preventif Maintenance Dan Estimasi Biaya Perawatan Mesin Potong Plat YSD HGS 31 / 30.* 9(2), 481–488.
- Huang, X., Wang, H., Xue, W., Xiang, S., Huang, H., Meng, L., & Ma, G. (2020). Study on time-temperature-transformation diagrams of stainless steel using machine-learning approach. *Computational Materials Science*, 171(September 2019), 109282.  
<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.109282>
- Jiang, J., Liu, Y., & Liu, C. (2022). Effect of tempering temperature on the microstructure, mechanical properties and abrasive wear behavior of a new Ce Cr e Mo e V alloy steel used in TBM cutter ring. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 195–209.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.156>
- Jirková, H., & Ku, L. (2022). *Effects of Heat Treatment on Microstructural Evolution in Additively-manufactured Parts of Various Heights from Maraging Steel.* 22(1), 14–19. <https://doi.org/10.21062/mft.2022.008>
- Kolekar, V. V., & Kulkarni, R. M. (2021). *Different Heat Treatment parameters investigation on microstructure, mechanical and wear properties of Hadfield Steel.*
- Li, L., Liu, X., Xu, W., Wang, J., & Shu, R. (2020). *Journal of Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 105850.  
<https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.105850>
- Milenović, I., Bošnjak, S., Gnjatović, N., & Obradović, A. (2022). *Eksploatacija i Niezawodność – Maintenance and Reliability Bucket wheel excavators with a kinematic breakdown system: Identification and monitoring of the basic*

- parameters of static stability of the slewing superstructure.* 24(2), 359–370.
- Mujaddedy, M. N., & Ibrahim, A. (2020). *Analisa pengaruh quenching dan tempering terhadap sifat mekanik pada baja AISI 1050.* 4(2), 125–130.
- No Title.* (2020). 175–199.
- Pedarnig, J. D., Trautner, S., Grünberger, S., Giannakaris, N., Eschlböck-fuchs, S., & Hofstadler, J. (2021). *applied sciences Review of Element Analysis of Industrial Materials by In-Line Laser — Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS).*
- Penz, F. M., & Schenk, J. (2019). *A Review of Steel Scrap Melting in Molten Iron-Carbon Melts.* 1900124, 1–20. <https://doi.org/10.1002/srin.201900124>
- Ravikumar, M., Reddappa, H. N., Suresh, R., & Reddy, M. S. (2021). *Experimental studies of different quenching media on mechanical and wear behavior of Al7075/SiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hybrid composites.* 55, 20–31. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.55.02>
- Razavi, N., Avanzini, A., Cornacchia, G., Giorleo, L., & Berto, F. (2021). Effect of heat treatment on fatigue behavior of as-built notched Co-Cr-Mo parts produced by Selective Laser Melting. *International Journal of Fatigue*, 142(September 2020), 105926. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105926>
- Recovery, R. (n.d.). *HEAT TREATMENT.*
- Singh, O. P., Kumar, G., & Kumar, M. (2019). *Role of Taguchi and Grey relational method in optimization of machining parameters of different materials : A review* 3(1), 19–22.
- Souza, S. De, Sérgio, P., Lúcio, G., & Faria, D. (2020). *Austenitizing Temperature and Cooling Rate Effects on the Martensitic Transformation in a Microalloyed-Steel 2 . Materials and Methods.* 23(1), 1–9.
- Srivastava, K., Anand, A., & Sahani, R. (2021). *Materials Today : Proceedings Effect of heat treatment on hardness and toughness of EN8 steel. Materials Today: Proceedings,* 42, 1297–1303. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1015>
- Starink, M. J., Bała, P., & Langdon, T. G. (2021). *Acta Materialia Abnormal grain growth in a Zn-0.8Ag alloy after processing by high-pressure torsion a.* 207.

- <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.116667>
- Steel, T., Bayock, F. N., Kah, P., Layus, P., & Karkhin, V. (2019). *Numerical and Experimental Investigation of the Heat Input Effect on the Mechanical Properties and Microstructure of Dissimilar Weld Joints of 690-MPa*. <https://doi.org/10.3390/met9030355>
- Tri, R., & Lmf, A. (2021). *Proses simulasi konduktivitas perpindahan panas pada atap dak menggunakan energy 2D Program Studi Arsitektur , Universitas 17 Agustus 1945 Semarang Program Studi Doktor Arsitektur Digital , Unika Soegijapranata Semarang. 14, 50–59.*
- Verdiere, A., Cerda, F. C., Wu, J., Crebolder, L., & Petrov, R. H. (2020). *Materials Science & Engineering A Effect of the austenitizing parameters on the microstructure and mechanical properties of 75Cr1 tool steel. 785*(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139331>
- Vulovic, S., Zivkovic, M., Pavlovic, A., & Vujanac, R. (2023). *Strength Analysis of Eight-Wheel Bogie of Bucket Wheel Excavator. 1–13.*
- Wang, L. Y., Wu, Y. X., Sun, W. W., Brassart, L., Arlazarov, A., Hutchinson, C. R., & Kingdom, U. (n.d.). *Strain hardening behaviour of as-quenched and tempered martensite.*
- Yang, M., & Wang, L. (n.d.). Phase- field modeling of grain evolutions in additive manufacturing from nucleation , growth , to coarsening. *Npj Computational Materials*. <https://doi.org/10.1038/s41524-021-00524-6>
- Yazdanshenas, A., & Goh, C. (2020). *Rockwell Hardness Testing on an Aluminum Specimen using Finite Element Analysis. June*. <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V7I4P101>
- Zhang, Y., You, T., Sun, Z., Luo, D., & Liu, J. (2022). Case Studies in Thermal Engineering Performance of thermal management for ballastless track plate of high-speed railway in hot regions. *Case Studies in Thermal Engineering, 40*(July), 102525. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102525>