



**STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF BAJA DAN
CrMnFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY* MENGGUNAKAN
*SOFTWARE CAE***

SKRIPSI

MIFTAH ALDI YAHYA

2010311101

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN
2025**



**STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF BAJA DAN
CrMnFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY* MENGGUNAKAN
*SOFTWARE CAE***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik**

MIFTAH ALDI YAHYA

2010311101

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

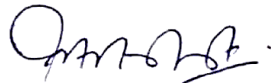
Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Miftah Aldi Yahya
NIM : 2010311101
Program Studi : S-1 Teknik Mesin
Judul Skripsi : STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF
BAJA DAN MnCrFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY*
MENGUNAKAN *SOFTWARE CAE*

Menyatakan bahwa skripsi telah dikoreksi atau diperbaiki oleh penulis sesuai dengan berita acara ujian komprehensif.



Dr. Eng Riki Hendra Putra
Penguji Utama



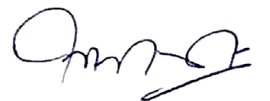
Ir. Fahrudin S.T., M.T.
Penguji Lembaga



Dr. Ir. Muchammad Oktaviandri,
ST., MT., IPM., ASEAN. Eng
Plt Dekan Fakultas Teknik



Budhi Martana S.T., M.M.
Pembimbing I



Ir. Fahrudin S.T., M.T.
Kepala Program Studi Teknik
Mesin

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 10 Januari 2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF BAJA DAN MnCrFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY* MENGGUNAKAN *SOFTWARE* *CAE*

Dipersiapkan dan disusun oleh:

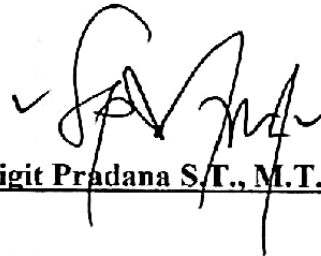
Miftah Aldi Yahya 2010311101

Pembimbing 1



Budhi Martana S.T., M.M.

Pembimbing 2



Sigit Pradana S.T., M.T.

Jakarta, 13 Januari 2025

Mengetahui:

Kepala Program Studi Teknik Mesin



Ir. Fahrudin, S.T., M.T.

NIP. 1986103120212110

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.

Nama : Miftah Aldi Yahya

NIM : 2010311101

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksamaan dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 10 Januari 2025

Yang Menyatakan,



Miftah Aldi Yahya

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta,
saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftah Aldi Yahya
NIM : 2010311101
Fakultas : Teknik
Program Studi : S-1 Teknik Mesin
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*) atas Skripsi saya yang berjudul:

**“STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF BAJA DAN
MnCrFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY* MENGGUNAKAN *SOFTWARE CAE*”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 10 Januari 2025

Yang Menyatakan,



Miftah Aldi Yahya

**STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF BAJA DAN
MnCrFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY* MENGGUNAKAN
*SOFTWARE CAE***

MIFTAH ALDI YAHYA

ABSTRAK

Keausan erosif sering terjadi pada proses pembuatan besi dan baja. Ketika bijih besi dan kokas dimasukkan akan jatuh melalui *revolving chute* ke dalam tanur tinggi. Bijih besi dan kokas yang jatuh akan terus menghantam dinding *revolving chute*. Hantaman yang terjadi pada permukaan *revolving chute* menyebabkan keausan yang diakibatkan benturan bijih besi dan kokas secara terus menerus yang membuat kerusakan parah pada permukaan dinding. Untuk itu novelty pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik ketahanan aus erosif paduan entropi tinggi CrMnFeCoNi dengan material baja sebagai material pembanding uji, yaitu baja tahan karat martensit pada sudut tumbukan 30°, 60°, dan 90°. Pengujian dimensi spesimen yaitu 50 mm x 50 mm x 10 mm dan partikel berdiameter 10 mm dengan kecepatan partikel 20 ms. Hasil analisis diverifikasi dari sudut pandang tegangan dan regangan plastis ekuivalen. Berdasarkan analisis LS-DYNA menunjukkan bahwa laju erosi pada sudut tumbukan 60° lebih rendah pada material *high entropy alloy*. Oleh karena itu, dengan berkonsentrasi pada deformasi plastis permukaan material, dimungkinkan untuk memastikan laju keausan erosif terhadap sudut tumbukan melalui analisis metode elemen hingga dengan LS-DYNA.

Kata kunci: Laju erosif, Keausan, Sudut tumbukan, Paduan entropi tinggi, LS-DYNA.

COMPARATIVE STUDY OF EROSIWE WEAR RATE OF STEEL AND MnCrFeCoNi HIGH ENTROPY ALLOY USING CAE SOFTWARE

MIFTAH ALDI YAHYA

ABSTRACT

Erosive wear often occurs in the iron and steel making process. When iron ore and coke are fed, they fall through the revolving chute into the blast furnace. The falling iron ore and coke will continue to hit the wall of the revolving chute. The impact that occurs on the surface of the revolving chute causes wear and tear due to the continuous impact of iron ore and coke which makes severe damage to the wall surface. For this reason, the novelty of this study aims to analyse the erosive wear resistance characteristics of CrMnFeCoNi high entropy alloy with steel material as a test comparison material, namely martensitic stainless steel at impact angles of 30°, 60°, and 90°. Testing specimen dimensions were 50 mm x 50 mm x 10 mm and particles were 10 mm in diameter with a particle velocity of 20 ms. The analysis results were verified from the viewpoint of equivalent plastic stress and strain. Based on the LS-DYNA analysis, it shows that the erosion rate at the impact angle of 60° is lower in the high entropy alloy material. Therefore, by concentrating on the plastic deformation of the material surface, it is possible to ascertain the erosive wear rate against the impact angle through the analysis of finite element method with LS-DYNA.

Keyword: Erosive rate, Wear, Impact angle, High entropy alloy, LS-DYNA.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi yang berjudul “STUDI KOMPARATIF LAJU KEAUSAN EROSIF BAJA DAN CrMnFeCoNi *HIGH ENTROPY ALLOY* MENGGUNAKAN *SOFTWARE CAE*”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Dalam penyelesaiannya, penulis menyadari bahwa Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dengan bantuan berupa materi, informasi, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung dan tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan kelancaran dalam penyusunan skripsi ini.
2. Keluarga penulis, Bapak Ahyat, Ibu Euis Rohaeti, dan Abangku Dadan Suyatna dan Iyusdiat Rynaldi yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan kepada penulis.
3. Seluruh keluarga penulis yang memberikan bantuan dan informasi dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Budhi Martana, ST., MM. dan Bapak Sigit Pradana ST., MT. selaku dosen pembimbing yang memberikan saran dan mengoreksi kekurangan
5. Bapak Fahrudin, ST., MT. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin yang sudah memberikan persetujuan mengenai penulisan Skripsi.
6. Seluruh jajaran dosen maupun staf di Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta yang telah membantu semua proses awal hingga akhir.
7. Refaya Zahra Farhandi dan Muhammad Zahran Abdillah selaku teman seperjuangan skripsi angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
8. Mashadi Nurfa'I sebagai sahabat yang telah menemani penulis di sela-sela kejenuhan saat menulis skripsi ini

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan Skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Stainless Steel</i>	5
2.1.1. <i>Martensitic stainless steel</i>	6
2.2. <i>High Entropy Alloy</i>	7
2.2.1. <i>Single-phase high-entropy alloys</i>	13
2.3. <i>Finite Element Method</i>	15
2.3.1. <i>Divide and conquer: perkiraan untuk FEM</i>	18
2.3.2. <i>Partial differential equations (PDE)</i>	18
2.4. LS DYNA.....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1. Metode Penelitian	22
3.2. Prosedur Penelitian	22

3.2.1. Diagram alir	22
3.2.2. Studi literatur	23
3.2.3. Spesifikasi material	23
3.2.4. LS DYNA	23
3.2.5. Dimensi model	24
3.2.6. <i>Meshing</i>	26
3.2.7. <i>Keyword manager</i>	26
3.2.8. <i>Run</i> simulasi.....	36
3.2.9. Hasil simulasi.....	37
3.2.10. Analisis hasil.....	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Spesifikasi Spesimen.....	38
4.2. Tegangan Von Mises.....	38
4.3. Kedalaman lekukan.....	41
4.4. Regangan Plastis Efektif	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan.....	46
5.2. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kondisi pengujian dari material dan partikel.	2
Tabel 2.1 Komposisi kimia dari serbuk AISI 420 SS.	6
Tabel 2.2 Sifat mekanik dari AISI 420 SS pada temperatur ruang (20°C).....	7
Tabel 2.3 Komposisi kimia dari CrMnFeCoNi paduan entropi tinggi.....	12
Tabel 2.4 Sifat mekanik dari paduan entropi tinggi CrMnFeCoNi pada temperatur ruang (20°C).....	12
Tabel 3.1 Kondisi spesifikasi spesimen dan partikel.	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Revolving chute</i> pada tanur tinggi.	1
Gambar 2.1 Beberapa reaksi yang mungkin terjadi ketika tiga unsur berbeda, yang diwakili oleh bola merah, biru, dan hijau dicampur dalam proporsi yang sama (tengah), termasuk dekomposisi spinodal (kiri), pembentukan larutan padat tunggal/ganda (atas/bawah), atau pengendapan senyawa intermetalik dalam larutan padat (kanan).	10
Gambar 2.2 <i>Finite</i> elemen material.	15
Gambar 2.3 (a) Pemberian beban pada suatu plat; (b) Model elemen hingga.	17
Gambar 2.4 Analisis persamaan Laplace pada anulus; tampilan isometrik (kiri) dan tampilan atas (kanan).	19
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	22
Gambar 3.2 Sel dua dimensi.	24
Gambar 3.3 Hasil dari 3D analisis FEM untuk dampak partikel tunggal.	24
Gambar 3.4 Model 3D pengujian pada spesimen, (a) 30°; (b) 60°; (c) 90°.	25
Gambar 3.5 Bentuk <i>mesh</i> 2D <i>quadrilateral</i>	26
Gambar 3.6 Bentuk <i>mesh</i> 2D <i>triangle</i>	26
Gambar 3.7 <i>Boundary</i> pada LS-DYNA.	27
Gambar 3.8 Kontak <i>single surface</i> pada LS-DYNA.	28
Gambar 3.9 Kontak <i>two-way</i> pada LS-DYNA.	29
Gambar 3.10 Kontrol <i>accuracy</i> pada LS-DYNA.	29
Gambar 3.11 Kontrol <i>contact</i> pada LS-DYNA.	30
Gambar 3.12 Kontrol <i>energy</i> pada LS-DYNA.	30
Gambar 3.13 Kontrol <i>hourglass</i> pada LS-DYNA.	31
Gambar 3.14 Kontrol <i>solid</i> pada LS-DYNA.	31
Gambar 3.15 Kontrol <i>termination</i> pada LS-DYNA.	32
Gambar 3.16 Kontrol <i>timestep</i> pada LS-DYNA.	32
Gambar 3.17 <i>Database binary</i> d3plot pada LS-DYNA.	33
Gambar 3.18 <i>Database ASCII</i> pada LS-DYNA.	33
Gambar 3.19 <i>Initial velocity</i> pada LS-DYNA.	34
Gambar 3.20 <i>Mat add erosion</i> pada LS-DYNA.	34

Gambar 3.21 Mat <i>rigid</i> pada LS-DYNA.	35
Gambar 3.22 Mat <i>piecewise linear plasticity</i> pada LS-DYNA.	35
Gambar 3.23 <i>Part</i> pada LS-DYNA.	36
Gambar 3.24 <i>Section</i> pada LS-DYNA.	36
Gambar 3.25 Simulasi gagal/ <i>error termination</i> pada LS-DYNA.	37
Gambar 3.26 Simulasi berhasil/ <i>normal termination</i> pada LS-DYNA.	37
Gambar 4.1 Sketsa 2D dari spesimen pengujian.	38
Gambar 4.2 Distribusi tegangan Von Mises <i>SS</i> berdasarkan sudut tumbukan dengan analisis <i>FEM</i> , (a) 30°; (b) 60°; (c) 90°.	39
Gambar 4.3 Distribusi tegangan Von Mises <i>HEA</i> berdasarkan sudut tumbukan dengan analisis <i>FEM</i> , (a) 30°; (b) 60°; (c) 90°.	40
Gambar 4.4 Tegangan Von Mises berdasarkan material dengan analisis <i>FEM</i> . .	41
Gambar 4.5 Model kedalaman lekukan <i>FEM</i> untuk tumbukan partikel tunggal <i>stainless steel</i> dan <i>high entropy alloy</i>	42
Gambar 4.6 Kedalaman lekukan yang dihasilkan pada permukaan target, (a) <i>stainless steel</i> ; (b) <i>high entropy alloy</i>	42
Gambar 4.7 Laju keausan erosif dari <i>spheroidal carbide cast iron</i> dengan analisis <i>FEM</i>	43
Gambar 4.8 Laju keausan erosif dari <i>stainless steel</i> dan <i>high entropy alloy</i> dengan analisis <i>FEM</i>	44