

**KARAKTERISASI KOROSI *SHAPE MEMORY ALLOY* Fe-
Mn-Si DENGAN PENAMBAHAN UNSUR (2,04%Mo;
8,04%Ni; 10,23%Cr) DAN *HOT ROLLING* PADA
LARUTAN H₂SO₄, NaCl, SCP**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Sahla Sar'ana
3334200079

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

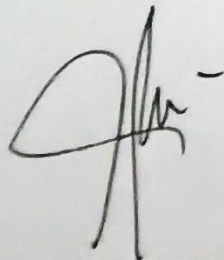
KARAKTERISASI KOROSI *SHAPE MEMORY ALLOY* Fe-Mn-Si DENGAN PENAMBAHAN UNSUR (2,04%Mo; 8,04%Ni; 10,23%Cr) DAN *HOT ROLLING* PADA LARUTAN H_2SO_4 , NaCl, SCP

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

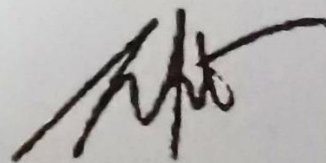
Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1980030720005011002

Pembimbing II



Miftakhur Rohmah, S.T., M.T.
NIP. 199404082019022005

LEMBAR PERSETUJUAN

KARAKTERISASI KOROSI *SHAPE MEMORY ALLOY* Fe- Mn-Si DENGAN PENAMBAHAN UNSUR (2,04%Mo; 8,04%Ni; 10,23%Cr) DAN *HOT ROLLING* PADA LARUTAN H₂SO₄, NaCl, SCP

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh :

Sahla Sar'ana

3334200079

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 23 Desember 2024

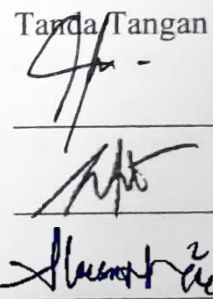
Susunan Dewan Penguji

Penguji I : Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji II : Miftakhur Rohmah, S.T., M.T.

Penguji III : Ir.Soesaptri Oediyani, M.E

Tanda Tangan



Sripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1980030720005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Karakterisasi Korosi *Shape Memory Alloy* Fe-Mn-Si
Dengan Penambahan Unsur (2,04%Mo; 8,04%Ni;
10,23%Cr) Dan *Hot Rolling* Pada Larutan H_2SO_4 , NaCl,
SCP

Nama : Sahla Sar'ana

NIM : 3334200079

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Skripsi ini ialah benar hasil karya asli saya dan tidak memuat pernyataan pada skripsi hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan atau literatur yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 07 Februari 2025



Sahla Sar'ana
NIM. 3334200079

ABSTRAK

Korosi merupakan tantangan utama dalam pemanfaatan material, termasuk pada *shape memory alloys* (SMA) berbasis Fe-Mn-Si. SMA adalah material inovatif dengan kemampuan untuk kembali ke bentuk semula setelah deformasi, sehingga banyak diaplikasikan dalam industri teknik dan medis. Namun, korosi dapat menyebabkan SMA menjadi rapuh, kehilangan sifat memori bentuk, dan mengurangi masa pakai material. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi SMA berbasis Fe-Mn-Si melalui penambahan unsur Mo, Ni, dan Cr serta variasi persen reduksi ketebalan pada proses *hot rolling*. Metode penelitian yang digunakan meliputi metalografi, *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS), *potensiodynamic*, *open circuit potential* (OCP), dan uji kekerasan untuk menganalisis struktur mikro, sifat mekanik, dan ketahanan korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persen reduksi ketebalan pada proses *hot rolling* secara signifikan meningkatkan ketahanan korosi SMA. Pada persen reduksi 80%, ukuran butir menjadi lebih kecil, menghasilkan nilai laju korosi terendah sebesar 0,289 mpy dalam larutan *simulated concrete pore* (SCP), yang jauh lebih rendah dibandingkan dalam larutan H₂SO₄ (12,45 mpy) dan NaCl (8,67 mpy). Sebaliknya, persen reduksi 50% menghasilkan nilai laju korosi tertinggi sebesar 16,84 mpy. Penambahan unsur Mo, Ni, dan Cr juga terbukti meningkatkan ketahanan korosi SMA, terutama melalui pembentukan lapisan pasif oleh unsur Cr, yang melindungi material dari serangan korosi. Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr menunjukkan performa terbaik dalam lingkungan korosif H₂SO₄, NaCl, dan SCP.

Kata Kunci: Fe-Mn-Si, Korosi, Persen Reduksi, *Shape Memory Alloy*, Unsur Paduan

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Penyusunan tugas akhir ini dilaksanakan untuk memenuhi persyaratan kelulusan sebagai sarjana Teknik Metalurgi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.. selaku Ketua Jurusan sekaligus pembimbing pertama yang membimbing penulis dalam penelitian hingga penyelesaian Skripsi ini
2. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA.
3. Ibu Miftakhur Rohmah, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua dan pembimbing lapangan penulis yang telah membimbing, mengajarkan, memberikan motivasi dan arahan selama penulis melakukan penelitian.
4. Staf pegawai dan peneliti di Laboratorium Karakterisasi Lanjut Metalurgi di BRIN B.J Habibie Serpong yang telah membantu penelitian.
5. Ibu Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. sebagai dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan motivasi bimbingan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
6. Kedua Orang Tua, Alm. Abi Ubaidillah yang sudah memberikan motivasi untuk kuliah terhadap anak-anaknya meski semua anaknya perempuan tapi selalu ditanamkan agar besar menjadi seorang sarjana. Skripsi ini penulis persembahkan untuk Abi semoga Bahagia di alam sana. Umi Endah Rosyidah yang selalu mendoakan dan memberi semangat terhadap penulis sehingga penulis bisa menghadapi sulitnya kehidupan termasuk menjalani skripsi dan menyelesaikannya.

7. Saudara penulis, t dita, t syifa, t hana, najwa dan fiya telah memberi dukungan dan selalu mendengarkan keluhan penulis hingga penulis terus semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Rekan seperjuangan penulis dengan npm 3334200030 yang selalu menemani dan mendukung penuh perjalanan penulis dari mulai mahasiswa baru hingga semester akhir ini.
9. Keluarga Besar Teknik Metalurgi angkatan 2020 yang telah membersamai penulis selama masa pendidikan.dan semua pihak yang turut membantu penulis dalam proses penyusunan Skripsi ini, meskipun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak diharapkan. Penulis berharap agar proposal tugas akhir ini bermanfaat, khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya. Atas perhatiannya, Penulis mengucapkan Terima Kasih

Cilegon, Desember 2024



Sahla Sar'ana

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
ABSTRAK LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Sistematika Penulisan	7
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Shape memory alloy</i>	8
2.2 <i>Shape memory alloy Fe-Based</i>	10
2.4 Transformasi Fasa <i>Shape memory alloy</i>	12
2.5 Pengaplikasian <i>Shape memory alloy</i>	15

2.6	<i>Hot rolling</i>	16
2.7	<i>Solution treatment</i>	17
2.8	Korosi	19
2.9	Metalografi	24
2.10	Pengujian <i>Open Circuit Potential</i> (OCP)	26
2.11	Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	27
2.12	Pengujian <i>Potentiodynamic</i>	28
2.13	Pengujian Kekerasan	29

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.2	Informasi Kode Sampel.....	31
3.3	Diagram Alir Penelitian	32
3.4	Alat dan Bahan	33
3.4.1	Alat-alat yang Digunakan	33
3.4.2	Bahan-bahan yang Digunakan	34
3.5	Prosedur Penelitian	34
3.5.1	Pngujian Spektroskopi Emisi Optik (OES)	35
3.5.2	Proses Austenisasi.....	35
3.5.3	Proses <i>Hot rolling</i>	36
3.5.4	Proses <i>Solution treatment</i>	36
3.5.5	Proses Pengujian dan Analisis	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian Komposisi Kimia <i>Shape memory alloy</i>	41
-----	---	----

4.2	Hasil Pengujian Metalografi	43
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan	50
4.4	Hasil Pengujian Korosi	54
4.4.1	Hasil Pengujian OCP	54
4.4.2	Hasil Pengujian EIS	57
4.4.3	Hasil Pengujian Potensiodinamik	64
4.4.4	Pengamatan Permukaan Setelah Korosi.....	73
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN		84
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN		86
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN		108

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat yang dihasilkan Paduan SMA	11
Tabel 2.2 Komposisi SMA terhadap Transformasi Fasa	14
Tabel 3.1 Informasi Kode Sampel	31
Tabel 4.1 Komposisi Kimia <i>Shape memory alloy</i>	41
Tabel 4.2 Fraksi Fasa dan Ukuran Butir	48
Tabel 4.3 Data Analisis Regresi Linear Berganda Hubungan Fraksi Fasa dan Fraksi Presipitat Terhadap Nilai Kekerasan	53
Tabel 4.4 Hasil Pengujian OCP	57
Tabel 4.5 Parameter EIS baja Fe-Mn-Si-Ni-Cr dalam Larutan H ₂ SO ₄	62
Tabel 4.6 Parameter EIS baja Fe-Mn-Si-Ni-Cr dalam Larutan NaCl	63
Tabel 4.7 Parameter EIS baja Fe-Mn-Si-Ni-Cr dalam Larutan SCP	64
Tabel 4.8 Parameter Korosi Potensiodinamik	71
Tabel B.1 Komposisi Kimia <i>Shape memory alloy</i>	87
Tabel B.2 Data Hasil Ukuran Butir Reduksi 50% dan 80%	87
Tabel B.3 Hasil Uji Kekerasan	88
Tabel B.4 Data Laju Korosi menggunakan H ₂ SO ₄	93
Tabel B.5 Data Laju Korosi menggunakan NaCl	96
Tabel B.6 Data Laju Korosi menggunakan SCP	99

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip <i>Shape memory alloy</i>	8
Gambar 2.2 Transformasi Fasa pada <i>Shape memory alloy</i>	13
Gambar 2.3 Mekanisme Proses <i>Hot rolling</i>	16
Gambar 2.4. Diagram Keseimbangan Fasa.....	18
Gambar 2.5 Diagram <i>Pourbaix</i> Unsur Paduan	24
Gambar 2.6 Hasil Pengamatan Metalografi SMA Fe-Mn-Si-Cr-Ni-Ti	25
Gambar 2.7 Grafik <i>Open Circuit Potensial</i>	27
Gambar 2.8 (a) Plot <i>Nyquist</i> (b, c) <i>Bode</i> dan <i>phase</i> (d) rangkaian ekuivalen yang digunakan dalam proses <i>fitting</i>	28
Gambar 2.9 Grafik Potensiodinamik	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Pengujian OES	35
Gambar 3.3 Proses <i>Hot rolling</i>	36
Gambar 3.4 Proses <i>Solution treatment</i>	36
Gambar 3.5 Mikroskop Optik	38
Gambar 3.6 Pengujian Korosi	39
Gambar 3.7 Pengujian Kekerasan	40
Gambar 4.1 Prediksi Diagram Fasa Menggunakan Jmatpro	42

Gambar 4.2 Struktur Mikro <i>Shape memory alloy</i> Reduksi 50% dan 80% perbesaran 50x Sampel A, sampel B, Sampel C, Sampel D	44
Gambar 4.3 Prediksi Diagram Fasa Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr Menggunakan Jmatpro	47
Gambar 4.4 Grafik Ukuran Butir Reduksi 50% dan 80%	47
Gambar 4.5 Diagram Batang Nilai Rata-Rata Pengujian Kekerasan SMA	50
Gambar 4.6 Grafik OCP pada Larutan H_2SO_4	55
Gambar 4.7 Grafik OCP pada Larutan NaCl	55
Gambar 4.8 Grafik OCP pada Larutan SCP	56
Gambar 4.9 Rangkaian Sirkuit Model <i>Randles Modified</i> Larutan H_2SO_4	58
Gambar 4.10 Rangkaian Sirkuit Model <i>Randles Modified</i> Larutan NaCl	58
Gambar 4.11 Rangkaian Sirkuit Model <i>Randles Modified</i> Larutan SCP	59
Gambar 4.12 Ilustrasi Mekanisme Perilaku Korosi dan Perilaku Elektrokimia...	59
Gambar 4.13 Grafik EIS pada Larutan H_2SO_4	61
Gambar 4.14 Grafik EIS pada Larutan NaCl	61
Gambar 4.15 Grafik EIS pada Larutan SCP	61
Gambar 4.16 Pengaruh Ukuran Butir terhadap Nilai Laju Korosi a) H_2SO_4 , b) NaCl, c) SCP	67
Gambar 4.17 Grafik Potensiodinamik pada Larutan H_2SO_4	68
Gambar 4.18 Grafik Potensiodinamik pada Larutan NaCl	68
Gambar 4.19 Grafik Potensiodinamik pada Larutan SCP	69
Gambar 4.20 Pengamatan Permukaan Setelah Polarisasi dalam Larutan a) H_2SO_4 , b) NaCl, c) SCP	74

Gambar B.1 Prediksi Diagram Fasa Paduan Fe-Mn-Si	88
Gambar B.2 Prediksi Diagram Fasa Paduan Fe-Mn-Si-Mo	88
Gambar B.3 Prediksi Diagram Fasa Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni	89
Gambar B.4 Prediksi Diagram Fasa Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr	89
Gambar B.5 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.A pada Larutan H ₂ SO ₄	91
Gambar B.6 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.B pada Larutan H ₂ SO ₄	91
Gambar B.7 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.C pada Larutan H ₂ SO ₄	91
Gambar B.8 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.D pada Larutan H ₂ SO ₄	92
Gambar B.9 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.A pada Larutan H ₂ SO ₄	92
Gambar B.10 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.B pada Larutan H ₂ SO ₄	92
Gambar B.11 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.C pada Larutan H ₂ SO ₄	93
Gambar B.12 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.D pada Larutan H ₂ SO ₄	93
Gambar B.13 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.A pada Larutan NaCl	94

Gambar B.14 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.B pada	
Larutan NaCl	94
Gambar B.15 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.C pada	
Larutan NaCl	94
Gambar B.16 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.D pada	
Larutan NaCl	95
Gambar B.17 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.A pada	
Larutan NaCl	95
Gambar B.18 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.B pada	
Larutan NaCl	95
Gambar B.19 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.C pada	
Larutan NaCl	96
Gambar B.20 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.D pada	
Larutan NaCl	96
Gambar B.21 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.A pada	
Larutan SCP	97
Gambar B.22 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.B pada	
Larutan SCP	97
Gambar B.23 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.C pada	
Larutan SCP	97
Gambar B.24 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 50.D pada	
Larutan SCP	98

Gambar B.25 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.A pada Larutan SCP	98
Gambar B.26 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.B pada Larutan SCP	98
Gambar B.27 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.C pada Larutan SCP	99
Gambar B.28 Data Pengujian Korosi Potensiodinamik Sampel 80.D pada Larutan SCP	99
Gambar B.29 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.A pada Larutan H ₂ SO ₄	100
Gambar B.30 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.B pada Larutan H ₂ SO ₄	100
Gambar B.31 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.C pada Larutan H ₂ SO ₄	100
Gambar B.32 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.D pada Larutan H ₂ SO ₄	101
Gambar B.33 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.A pada Larutan H ₂ SO ₄	101
Gambar B.34 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.B pada Larutan H ₂ SO ₄	101
Gambar B.35 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.C pada Larutan H ₂ SO ₄	102
Gambar B.36 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.D pada Larutan H ₂ SO ₄	102
Gambar B.37 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.A pada Larutan NaCl	102
Gambar B.38 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.B pada Larutan NaCl	103
Gambar B.39 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.C pada Larutan NaCl	103
Gambar B.40 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.D pada Larutan NaCl	103
Gambar B.41 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.A pada Larutan NaCl	104
Gambar B.42 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.B pada Larutan NaCl	104
Gambar B.43 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.C pada Larutan NaCl	104

Gambar B.44 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.D pada Larutan NaCl	105
Gambar B.45 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.A pada Larutan SCP	105
Gambar B.46 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.B pada Larutan SCP	105
Gambar B.47 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.C pada Larutan SCP	106
Gambar B.48 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 50.D pada Larutan SCP	106
Gambar B.49 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80.A pada Larutan SCP	106
Gambar B.51 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80 B pada Larutan SCP	107
Gambar B.52 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80 C pada Larutan SCP	107
Gambar B.53 Kurva <i>Nyquist</i> Sampel 80 D pada Larutan SCP	107
Gambar C.1 Ampelas	109
Gambar C.2 Aquades	109
Gambar C.3 Baja Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr	109
Gambar C.4 Cairan <i>Polish</i>	109
Gambar C.5 Cetakan Resin	109
Gambar C.6 <i>Cutting Machine</i>	109
Gambar C.7 Gelas Beker	109
Gambar C.8 Larutan Etsa	109
Gambar C.9 Mesin <i>Grinding Polishing</i>	110
Gambar C.10 Neraca Digital	110
Gambar C.11 <i>Resin Hardener</i>	110
Gambar C.12 Sarung Tangan	110

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi material terus mengalami perkembangan signifikan, salah satunya melalui inovasi baja *Shape memory alloy* (SMA). SMA adalah material yang dicirikan oleh transformasi fase termoelastik yang memungkinkannya kembali ke bentuk aslinya ketika dipanaskan setelah mengalami proses deformasi [1]. Penggunaan SMA ini telah menarik perhatian karena banyak digunakan untuk aplikasi industri rekayasa struktur, misalnya sebagai elemen redaman untuk jembatan dan bangunan bertingkat tinggi di daerah rawan gempa. SMA juga digunakan untuk kopling, aktuator, kawat panduan medis. Namun, dari inovasi kemajuan material tersebut korosi muncul sebagai tantangan utama yang harus diatasi. SMA memiliki sifat unik yaitu mampu kembali menjadi bentuk semula dan memiliki sifat superelastis yang, tetapi dengan adanya korosi menyebabkan kerusakan pada material SMA.

Korosi merupakan proses degradasi material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekitar. Fenomena ini menjadi masalah signifikan dalam berbagai industri karena dapat mengurangi umur pakai, kekuatan, dan fungsionalitas material. Proses korosi dapat terjadi di berbagai lingkungan (asam, netral, hingga basa) dengan mekanisme dan laju yang berbeda-beda tergantung pada kondisi lingkungan dan jenis materialnya. Korosi pada SMA menyebabkan material menjadi rapuh, mudah patah, dan kehilangan kemampuan untuk kembali ke bentuk

aslinya setelah dideformasi. Hal ini menjadi hambatan signifikan dalam pemanfaatan SMA. Untuk mengatasi masalah tersebut, penambahan komposisi paduan tertentu merupakan salah satu cara efektif untuk meningkatkan ketahanan korosi pada SMA.

Paduan SMA yang sering digunakan yaitu paduan Ni-Ti berhasil mencapai ketahanan korosi yang tinggi 0,101 mpy dan sifat mekanik yang baik karena terbentuknya lapisan oksida titanium yang stabil di permukaannya. Namun, di balik keunggulannya paduan Ni-Ti memiliki beberapa kekurangan yaitu memerlukan biaya yang tinggi sebesar \$100-\$300 dan proses pengerjaan yang sulit [1]. Oleh karena itu, alternatif paduan lainnya yang lebih ekonomis dan mudah diproses harus dikembangkan, yaitu Paduan SMA berbasis Fe.

SMA berbasis Fe yang ditemukan oleh Sato dkk pada awal 1980-an dengan komposisi Fe-30Mn-1Si menjadi alternatif menarik karena biaya yang relatif rendah 14-18 juta, sifat mekanik baik dengan nilai kekerasan 284,93 HV, dan kemampuan kerja yang sangat baik. Paduan Fe-Mn-Si dengan kandungan 28-34% Mn dan 4-6,5% Si menunjukkan *shape memory effect* yang hampir sempurna dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding paduan Ni-Ti. Hal ini dibuktikan dalam penelitian Qiang (2022) yang menunjukkan nilai *yield strength* paduan Fe-32%Mn-6%Si mencapai 330MPa, sedangkan Ni-Ti hanya 49,03-196,1MPa. Sifat mekanik dan ketahanan korosi Paduan Fe-Mn-Si bergantung pada komposisi kimia, perlakuan panas serta proses termomekanik yang diterapkan. Penambahan unsur Ni dan Cr terbukti dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan Paduan Fe-Mn-Si [2]. Namun, penambahan Mo pada Fe-Mn-Si belum banyak diteliti. Secara

umum, penambahan Mo pada Paduan Fe dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan [3].

Selain penambahan unsur paduan, pengerolan panas merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mekanik SMA. Penelitian sebelumnya pada paduan Fe-14Mn-4Si-8Ni-11Cr yang mengalami *hot rolling* pada temperatur 1000°C menunjukkan peningkatan nilai kekerasan dari 166,93 HV menjadi 299,71 HV [2]. Penelitian Niko (2017), menunjukkan reduksi yang lebih besar meningkatkan laju korosi dari 0,253 mpy menjadi berapa 0,0024 mpy, semakin tinggi persen reduksi *rolling*, semakin besar heat input dan pendinginan lambat, yang meningkatkan penebalan karbida krom di batas butir, sehingga memperburuk laju korosi. Hasil ini sangat kontradiktif dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhang (2022), ditemukan bahwa reduksi ketebalan pada proses *rolling* yang lebih besar dapat menurunkan laju korosi dari 1,72 mpy menjadi 0,85 mpy, Semakin tinggi persen reduksi, struktur butir semakin halus dan homogen, mengurangi difusi hidrogen dan memperkuat lapisan pelindung, sehingga ketahanan korosi meningkat. Pengaruh reduksi ketebalan pada proses rolling belum dapat dipastikan secara jelas sehingga diperlukan penelitian spesifik yang membahas pengaruh *rolling* terhadap ketahanan korosi pada Paduan Fe-Mn-Si. Keterbatasan penelitian tentang pengaruh *hot rolling* terhadap sifat mekanik dan korosi SMA membuka peluang besar untuk penelitian lebih lanjut.

Shape Memory Alloys (SMA) memiliki aplikasi yang beragam dalam berbagai kondisi lingkungan seperti basa, asam, dan netral. Penelitian tugas akhir ini menggunakan 3 jenis lingkungan yang berbeda untuk mensimulasikan bahwa material tersebut dapat bertahan dari korosi. Dalam lingkungan basa, SMA

digunakan untuk baja redaman gempa, dengan pengujian menggunakan larutan *Simulated Concrete Pore* (SCP). Larutan SCP mensimulasikan kondisi alkali dalam beton untuk menguji ketahanan material dan kinerjanya, khususnya dalam mensimulasikan kondisi korosif pada permukaan logam di pori-pori beton. Untuk lingkungan asam, pengujian menggunakan H_2SO_4 , yang relevan dengan aplikasi pipa kopling yang mengalirkan fluida asam seperti H_2SO_4 , HCl , dan HNO_3 . Sementara itu, pengujian dalam lingkungan netral menggunakan larutan $NaCl$, yang mensimulasikan kondisi air laut untuk aplikasi kelautan atau pembangkit listrik tenaga air.

Penelitian sebelumnya oleh Miftakhur (2023) pada SMA Fe-14,3Mn-3,85Si-10,56Cr-8,25Ni menunjukkan laju korosi 0,054 mpy dalam larutan SCP dan 3,919 mpy dalam larutan $NaCl$. Sementara Maji (2006) menemukan laju korosi 0,033 mpy pada SMA Fe-15Mn-7Si-9Cr-5Ni dalam larutan H_2SO_4 . Meski penelitian terdahulu telah memberikan dasar penting, masih diperlukan pengembangan lebih lanjut, terutama dalam eksplorasi pengaruh unsur paduan seperti molibdenum yang meningkatkan ketahanan korosi [3], nikel yang meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi [4], serta kromium yang berfungsi sebagai pembentuk ferit dan sumber ketahanan korosi [5]. Penelitian ini bertujuan karakterisasi perilaku korosi paduan ingat bentuk Fe-Mn-Si dengan penambahan unsur paduan (2,04 Molibdenum, 8,04%Nikel, dan 10,23% Kromium) dan pengerolan panas pada larutan asam sulfat, natrium klorida, dan *simulated concrete pore*. Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat membuka peluang besar bagi pengembangan teknologi material SMA.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, identifikasi masalah pada penelitian ini adalah bagaimana karakterisasi perilaku korosi paduan ingat bentuk Fe-Mn-Si dengan penambahan unsur paduan (2,04 Molibdenum, 8,04%Nikel, dan 10,23% Kromium) dan pengerolan panas pada larutan asam sulfat, natrium klorida, dan *simulated concrete pore*. Ketahanan korosi SMA pada penelitian ini akan ditingkatkan melalui penambahan unsur paduan Mo, Ni, dan Cr dengan variasi persen reduksi *hot rolling*. Penambahan unsur paduan Mo, Ni dan Cr akan meningkatkan sifat mekanik dan membentuk lapisan pasif yang dapat meningkatkan ketahanan korosi. Proses *hot rolling* akan membuat mekanisme rekristalisasi sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi pada SMA karena terjadi pertumbuhan butir yang menghambat proses dislokasi. Diharapkan dari dua variasi ini dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi SMA sehingga dapat diaplikasikan sebagai material pada lingkungan asam, netral, dan basa.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan diatas, maka didapatkan tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakterisasi morfologi mikrostruktur dan nilai kekerasan pada *shape memory alloy* Fe-Mn-Si dengan penambahan unsur paduan (2,04 Molibdenum, 8,04% Nikel, dan 10,23% Kromium) dan *hot rolling* (reduksi 50% dan 80%)?
2. Mengetahui karakterisasi perilaku korosi *shape memory alloy* Fe-Mn-Si dengan penambahan unsur paduan (2,04 Molibdenum, 8,04% Nikel,

dan 10,23% Kromium) dan *hot rolling* pada larutan asam sulfat, natrium klorida, dan *simulated concrete pore*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Pusat Riset Metalurgi Badan Riset dan Inovasi Nasional Serpong, Kota Tangerang Selatan.
2. Paduan yang diteliti antara lain : Paduan A (Fe-13,86Mn-4,88Si), paduan B (Fe-13,8Mn-4,9Si-2,04Mo), paduan C (Fe-13,94Mn-4,97Si-2,1Mo-8,04Ni), dan paduan D (Fe-13,5Mn-5,03Si-2,03Mo-8,06Ni-10,23Cr).
3. Proses homogenisasi dilakukan pada temperatur austenisasi 1050 °C dengan waktu tahan 1 jam
4. Proses *hot rolling* dilakukan pada temperatur 1000°C dengan reduksi ketebalan 50% dan 80%.
5. Proses *solution treatment* dilakukan pada temperatur 1000 °C dan selama 1 jam, dengan pendinginan cepat pada media air.
6. Pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik
7. Uji kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers*
8. Uji korosi dilakukan dengan menggunakan 3 jenis larutan asam, basa, dan netral. Larutan basa *concrete* terdiri dari 0,1 M Na₂SO₄ + 0,4 M KOH + 0,001 Ca(OH)₂, larutan asam menggunakan H₂SO₄ 0,5 M, dan larutan netral menggunakan NaCl 3,5%.

9. Uji korosi dilakukan dengan menggunakan 3 metode *Open Circuit Potential (OCP)* *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*, dan Potensiodinamik.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab I merupakan pendahuluan, yang menjelaskan tentang latar belakang dari fenomena korosi yang terjadi pada SMA, identifikasi masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tinjauan pustaka yang berisi teori untuk mendukung penelitian. Bab III berisi metodologi penelitian yang menjelaskan diagram alir penelitian, alat serta bahan yang digunakan saat penelitian, dan prosedur penelitian. Pada Bab IV disajikan hasil dan pembahasan dari pengujian yang telah dilakukan. Pada Bab V disajikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran. Kemudian, ditutup dengan daftar pustaka dan lampiran pendukung dalam penulisan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. M. Frenck, M. Vollmer, M. Mandel, L. Krüger, and T. Niendorf, "On the influence of microstructure on the corrosion behavior of Fe–Mn–Al–Ni *shape memory alloy* in 5.0 wt% NaCl solution," *Advanced Engineering Materials*, vol. 23, no. 2, p. 2000865, 2021.
- [2] M. Rohmah, E. C. Sendouw, R. A. Tanjung, D. P. Utama, and E. Maburi, "*Effect of Hot Rolling and Solution Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-Mn-Si-Ni-Cr Shape Memory Alloy*," *Metalurgi*, vol. 2, pp. 57-64, 2023.
- [3] H. Y. Ha, T. H. Lee, J. H. Bae, and D. W. Chun, "Molybdenum effects on pitting corrosion resistance of FeCrMnMoNC austenitic stainless steels," *Metals*, vol. 8, no. 8, p. 653, 2018.
- [4] A. Saifullah, "Pengaruh penambahan Nikel (Ni) terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada paduan aluminium–silikon (Al-Si) melalui proses pengecoran," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [5] M. V. Boniardi and A. Casaroli, "*Stainless steels*," Lucefin SpA, 2014.
- [6] F. Niccoli, C. Maletta, E. Sgambitterra, and F. Furguele, "A thermo-mechanical model for *shape memory alloy*-based crank heat engines," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 26, no. 6, pp. 652–662, 2014, doi: 10.1177/1045389x14554131.
- [7] W. S. Chu et al., "Review of biomimetic underwater robots using smart actuators," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 13, pp. 1281–1292, 2012.
- [8] S. Wang et al., "Memory-steel for smart steel structures: A review on recent developments and applications," *CE/Papers*, vol. 6, no. 3-4, pp. 949–958, 2023, doi: 10.1002/cepa.2756.
- [9] S. A. Roslan et al., "Dynamic instability response of smart composite material," *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, vol. 50, no. 3, pp. 302–310, 2019, doi: 10.1002/mawe.201800213.

- [10] K. Hong, Y. Yeon, S. Ji, and S. Lee, "Flexural behavior of RC beams using Fe-Based *shape memory alloy* rebars as tensile reinforcement," *Buildings*, vol. 12, no. 2, p. 190, 2022, doi: 10.3390/buildings12020190.
- [11] H. Khodaverdi, M. Mohri, E. Ghafoori, A. Sabet Ghorabaei, and M. Nili-Ahmadabadi, "Enhanced pseudoelasticity of an Fe–Mn–Si-based *shape memory alloy* by applying microstructural engineering through recrystallization and precipitation," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 10, 2022, pp. 1-9, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.10.092.
- [12] M. Rohmah, M. Y. Hasbi, R. Roberto, D. P. Utama, D. Irawan, P. A. Paristiawan, M. A. Prasetyo, B. Adjiantoro, T. B. Romijarso, and E. Maburi, "Corrosion behavior of *shape memory alloy* Fe-Mn-Si-Ni-Cr in chloride solution and simulated concrete pore solution," *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, vol. 12, no. 4, pp. 1392-1407, 2023.
- [13] M. Mohri,, "Effect of thermomechanical treatment and microstructure on pseudo-elastic behavior of Fe–Mn–Si–Cr–Ni-(V, C) *shape memory alloy*," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 855, p. 143917, 2022.
- [14] B. C. Maji, C. M. Das, M. Krishnan, and R. K. Ray, "The corrosion behaviour of Fe–15Mn–7Si–9Cr–5Ni *shape memory alloy*," **Corrosion Science**, vol. 48, no. 4, pp. 937–949, 2006.
- [15] H. Y. Ha, T. H. Lee, J. H. Bae, and D. W. Chun, "Molybdenum effects on pitting corrosion resistance of FeCrMnMoNC austenitic stainless steels," *Metals*, vol. 8, no. 8, p. 653, 2018.
- [16] S. Lyon et al., "Corrosion of molybdenum and its alloys," in *Shreir's Corrosion: Volume 3: Corrosion and Degradation of Engineering Materials*, Elsevier, 2009.
- [17] V. B. Sardi, S. Jokosisworo, and H. Yudo, "Pengaruh normalizing dengan variasi waktu penahanan panas (Holding Time) baja ST 46 terhadap uji kekerasan, uji tarik, dan uji mikrografi," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [18] A. Yafi, "Pengaruh Kadar Kromium (Cr) terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn melalui Proses Peleburan," 2016
- [19] R. Shu, H. Gong, G. Hu, and J. Huang, "A novel intelligent fan clutch for large hybrid vehicles," *Energies*, vol. 15, no. 12, p. 4308, 2022, doi: 10.3390/en15124308.

- [20] S. Wu and Y. Chang, "Thermal cycling effect on transformation temperatures of different transformation sequences in TiNi-based *shape memory alloys*," *Materials*, vol. 12, no. 16, p. 2512, 2019, doi: 10.3390/ma12162512.
- [21] K. Mehta and K. Gupta, "Fabrication and processing of *shape memory alloys*," in *Fabrication and processing of shape memory alloys*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 6-7.
- [22] H. Otsuka et al., "Effects of alloying additions on Fe-Mn-Si *shape memory alloys*," *ISIJ International*, vol. 30, no. 8, pp. 674–679, 1990.
- [23] Y. Tomota, Y. Xia, and K. Inoue, "Mechanism of low temperature brittle fracture in high nitrogen bearing austenitic steels," *Acta Materialia*, vol. 46, no. 5, pp. 1577-1587, 1998.
- [24] N. Stanford and D. P. Dunne, "Thermo-mechanical processing and the shape memory effect in an Fe–Mn–Si-based *shape memory alloy*," **Materials Science and Engineering: A**, vol. 422, no. 1-2, pp. 352–359, 2006.
- [25] B. C. Maji, M. Krishnan, V. Hiwarkar, I. Samajdar, and R. K. Ray, "Development of texture and microstructure during cold rolling and annealing of a Fe-based *shape memory alloy*," **Journal of Materials Engineering and Performance**, vol. 18, pp. 588–593, 2009.
- [26] A. M. Roman et al., "Microstructure, shape memory effect, chemical composition and corrosion resistance performance of biodegradable FeMnSi-Al alloy," *Crystals*, vol. 13, no. 1, p. 109, 2023.
- [27] F. F. D. Putra, "Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Holding Time Artificial Aging Paduan Cu-14,6Zn-7,41Al Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Shape Memory Effect," Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2022.
- [28] Z. Rao et al., "Experimental and numerical studies on a novel shape-memory alloy wire–woven trusses capable of undergoing large deformation," *Journal of Intelligent Material*, vol. 30, no. 15, pp. 2283–2298, 2019,
- [29] E. Choi, J. W. Hu, J. Lee, and B. Cho, "Recovery stress of *shape memory alloy* wires induced by hydration heat of concrete in reinforced concrete beams," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 26, no. 1, pp. 29–37, 2014, doi: 10.1177/1045389x13519005.
- [30] O. E. Ozbulut, R. F. Hamilton, M. M. Sherif, and A. Lanba, "Feasibility of self-pre-stressing concrete members using *shape memory alloys*," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 26, no. 18, pp. 2500–2514, 2015, doi: 10.1177/1045389x15604405.

- [31] F. Mert, "A comparison of the dry sliding wear behavior of As-cast and hot rolled Az31B magnesium alloy," *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 417-426, 2018.
- [32] O. M. Ikumapayi, E. T. Akinlabi, P. Onu, and O. P. Abolusoro, "Rolling operation in metal forming: Process and principles—A brief study," **Materials Today: Proceedings**, vol. 26, pp. 1644–1649, 2020.
- [33] F. Rokhmanto, M. D. Panghihutan, A. P. Putri, B. T. Prayoga, I. Kartika, A. Erryani, and C. Sutowo, "Pengaruh Variasi Temperatur *Solution treatment* pada Kekerasan dan Presipitat Paduan Co-30Cr-5Mo-0,32C-0,23N," *TEKNIK*, vol. 44, no. 1, pp. 1-6. 2023.
- [34] Wahyu, B. Penguatan Logam melalui Solid *Solution treatment*. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 78-85. 2008.
- [35] Putra, A. Penguatan Presipitat pada Paduan Logam. *Jurnal Teknik Metalurgi*, 12(3), 45-52. 2008.
- [36] N. Stanford and D. P. Dunne, "Martensite/particle interactions and the shape memory effect in an Fe–Mn–Si-based alloy," **Journal of Materials Science**, vol. 42, pp. 4334-4343, 2007.
- [37] A. Rahardi, "Pemanfaatan Green Inhibitor Daun Pandan Wangi terhadap laju korosi pada baja AI 5L Grade B di lingkungan NaCl 3,5% dan H2SO4 1M," *Jurusan Teknik Material dan Metalurgi*, ITS, Surabaya, Indonesia, 2014.
- [38] Y. K. Afandi, I. S. Arief, and A. Amiadji, "Analisa laju korosi pada pelat baja karbon dengan variasi ketebalan coating," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 4, no. 1, pp. G1–G5, 2015.
- [39] M. F. Sidiq, "Analisa korosi dan pengendaliannya," *Jurnal Foundry*, vol. 3, no. 1, pp. 25–30, 2013.
- [40] S. T. Dwiwati and M. T. Pangestu, "Kehilangan Massa Lapisan Tembaga-nikel/tembaga-nikel-silikon pada Larutan HCl," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, pp. 27-34, 2022.
- [41] X. Qiang, L. Chen, and X. Jiang, "Achievements and perspectives on Fe-based shape memory alloys for rehabilitation of reinforced concrete bridges: An overview," *Materials*, vol. 15, no. 22, p. 8089, 2022..
- [42] Sujianto, "Pengaruh penambahan unsur molibdenum (Mo) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja tahan karat tipe AISI 410," *Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Indonesia*, 2019.

- [43] S. Novita, E. G. Suka, and W. Astuti, "Analisis laju korosi dan kekerasan pada stainless steel 304 dan baja nikel laterit dengan variasi kadar Ni (0, 3, dan 10%) dalam medium korosif," *JURNAL Teori Fisika*, pp. 21-32, 2018.
- [44] H. Farhat, R. Griffin, I. N. A. Oguocha, and R. Evitts, "An investigation of the corrosion behaviour of a FeNiCoAlTa *shape memory alloy* in 3.5 wt-% NaCl solution," *Corrosion Engineering, Science and Technology*, vol. 53, no. 8, pp. 611–616, 2018.
- [45] M. Rațoi, S. Stanciu, N. Cimpoeșu, I. Cimpoeșu, B. Constantin, and C. Paraschiu, "A potential biodegradable metallic material with shape memory effect based on iron," *Advanced Materials Research*, vol. 814, pp. 110-114, 2013.
- [45] Y. Tiandho, A. A. Tiandho, and F. Afriani, "Analisis kuantitatif metalografi berdasarkan pengolahan citra menggunakan Wolfram Mathematica," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat*, vol. 2, pp. 205–209, 2018.
- [46] I. Fadhillah, "Analisis Struktur Mikro (Metalografi)," Program Studi Teknik Metalurgi ITB, Bandung, 2019.
- [47] D. Kim, K. Hong, J. Sim, J. Lee, and W. Lee, "Shape Memory and Mechanical Properties of Cold Rolled and Annealed Fe-17Mn-5Si-5Cr-4Ni-1Ti-0.3 C Alloy," **Materials**, vol. 14, no. 2, p. 255, 2021.
- [48] H. Kuat, "Quality of corrosion analysis sample preparation using potentiostate," 2019.
- [49] C. W. Yang, C. Liu, D. J. Lin, M. L. Yeh, and T. M. Lee, "Hydrothermal treatment and butylphosphonic acid derived self-assembled monolayers for improving the surface chemistry and corrosion resistance of AZ61 magnesium alloy," **Scientific Reports**, vol. 7, no. 1, p. 16910, 2017.
- [50] S. A. A. Kiey, E. A. E. Meguid, and S. A. E. Rehim, "Electrochemical Investigations on the Corrosion Behavior of 904L Stainless Steel in LiBr Solutions," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 32, no. 20, pp. 9163-9173, 2023.
- [51] R. Keshavamurthy, C. S. Ramesh, G. S. P. Kumar, and V. Tambrallimath, "Experimental investigation of tribocorrosion," in *Tribocorrosion*, A. Siddaiah, R. Ramachandran, and P. L. Menezes, Eds., Academic Press, 2021, pp. 17–42, doi: 10.1016/B978-0-12-818916-0.00001-8.
- [52] M. Sulaeman, H. Budiman, and E. Koswara, "Proses uji dimensi, uji kekerasan dengan metode Rockwell dan uji komposisi kimia pada cangkul di

Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung," in Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, vol. 10, no. 1, 2019.

- [53] R. D. Putra and M. A. Buqi, "Analisa Pengaruh Heat Treatment dan Variasi Kecepatan Putaran Pada Pengelasan Gesek Baja AISI 1045 Terhadap Kekuatan Tarik Struktur Mikro dan Kekerasan," Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang, 2023.
- [54] F. A. Rauf, F. P. Sappu, and A. M. Lakat, "Uji kekerasan dengan menggunakan alat microhardness Vickers pada berbagai jenis material teknik," Jurnal Tekno Mesin, vol. 5, no. 1, 2018.
- [55] S. G. Sukaryo, B. Badriyana, and P. Sebleku, "Pengaruh penambahan Molibdenum terhadap morfologi struktur mikro, sifat mekanik dan ketahanan korosi paduan Zr-Nb untuk material implan," **Metalurgi**, vol. 29, no. 1, pp. 17–26, 2018.
- [56] O. Armağan and T. Kırındı, "Microstructure investigation of thermally induced phase transformation in Fe–Mn–Mo–Si alloys," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 25, no. 2, pp. 419–431, 2021.
- [57] H. Cai, Z. Ma, J. Zhang, L. Qi, J. Hu, and J. Zhou, "Different Heat-Exposure Temperatures on the Microstructure and Properties of Dissimilar GH4169/IC10 Superalloy Vacuum Electron Beam Welded Joint," **Metals**, vol. 14, no. 3, p. 348, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/met14030348>.
- [58] A. Zulfikar, "Pengaruh penambahan nikel (Ni) terhadap kekerasan dan struktur mikro paduan FeCr-Ni melalui metode pengecoran," Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [59] M. Y. Hasbi, D. P. Malau, and B. Adjiantoro, "Pengaruh variasi reduksi terhadap kekerasan dan struktur mikro baja laterit melalui pengerolan panas," **Prosiding Semnastek**, 2016.
- [60] C. Xia, W. Zhang, Z. Kang, Y. Jia, Y. Wu, R. Zhang, ... and M. Wang, "High strength and high electrical conductivity Cu–Cr system alloys manufactured by *hot rolling*–quenching process and thermomechanical treatments," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 538, pp. 295–301, 2012.
- [61] Y. Tiandho, "Pengaruh unsur pepadu Mo dan proses fabrikasi terhadap kekerasan plat Zirlo-Mo," **Bangka Belitung University**, vol. 1, no. 1, 2013.
- [62] A. Hanrevo, "Pengaruh presipitat terhadap sifat mekanik paduan nikel," *Jurnal Metalurgi*, vol. 16, no. 1, pp. 23–31, 2023.

- [63] H. Aghamohammadi, S. J. Hosseini pour, S. M. Rabiee, and R. Jamaati, "Effect of *hot rolling* on microstructure, crystallographic texture, and hardness of AZ31 alloy," **Materials Chemistry and Physics**, 2021.
- [64] A. Shirzadi and S. Jackson, *Structural Alloys for Power Plants: Operational Challenges and High-Temperature Materials*, Cambridge: Elsevier, 2014.
- [65] Hamdan, A. Mass Loss Pada Pemaduan Logam Ni Fe Mn Al Metode Vacuum Arc Melting Furnace Terhadap Hume-Rothery Rules. *Jurnal Metalurgi*, 14(3), 45-52. (2017).
- [66] X. Feng, H. Jia, Y. Liu, Y. Li, W. Li, T. Zhanget al., "Effects of microstructures on the tensile properties and corrosion resistance of high-purity magnesium", *Materials Science Forum*, vol. 849, p. 114-120, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.849.114>
- [67] Y. Zheng, Y. r, Y. Liu, Y. Tian, X. Zheng, and L. Chen, "Microstructure characteristics and corrosion behaviors of Mg-2Zn-2Er-0.3 Zr-0.3 Mn alloy under various rolling reductions," **Metals**, vol. 12, no. 2, p. 365, 2022.
- [68] Ana, "Corrosion Behavior of Aluminum Alloy in Simulated Concrete Pore Solution", *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 22, no. 7, pp. 1822-1827, 2013.
- [69] A. Nikitasari, I. M. Astuti, S. Musabikha, R. Kusumastuti, S. Prifiharni, and G. Priyotomo, "Chasew (*Anacardium Occidentale*) Leaves Extract as Green Corrosion Inhibitor of API 5L X52 in Acidic Media," *Trends in Sciences*, vol. 20, no. 7, p. 4733, Mar. 2023, doi: 10.48048/tis.2023.4733.
- [70] Z. Xuemei and Z. Yansheng, "Effect of ϵ -martensite on the electrochemical corrosion behaviour of an Fe-Mn-Si *shape memory alloy* in aqueous solutions," *J. Mater. Sci. Lett.*, 1997.
- [71] C. A. Della Rovere, J. H. Alano, R. Silva, P. A. P. Nascente, J. Otubo, and S. E. Kuri, "Characterization of passive films on shape memory stainless steels," **Corrosion Science**, vol. 57, pp. 154-161, 2012.
- [72] Deni, D. P., Alfianarrochmah, '., & Kurnianingsih, O. (2023). Penetrasi dan sorptivitas klorida beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi substitusi metakaolin. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 8(02), 115-126. <https://doi.org/10.29244/jsil.8.02.115-126>