

ABSTRAK

Anisa Ruaidah

NIM. 211720031

Studi Perbandingan Laju Degradasi dan Struktur Mikro *Mechanical Alloying* Mg-5Al dan Mg-5Al-3Sn dengan Mg *Pure* Hasil Metalurgi Serbuk dan *Hot Ekstrusi* sebagai Alternatif Material Implan Tulang

Penambahan unsur paduan pada Mg menjadi salah satu pilihan untuk memperbaiki kekuatan dan laju degradasinya sebagai kandidat material implan tulang *biodegradable*. Peningkatan kekuatan dapat diperoleh dari penelitian sebelumnya, akan tetapi bagaimana pengaruhnya terhadap degradasi menjadi tujuan penelitian ini. Serbuk logam Mg, Al dan Sn diproses melalui *mechanical alloying*, dengan penambahan 5% wt. Al dan 3% wt. Sn, kemudian dikompaksi hangat dan diekstrusi panas untuk menghasilkan sampel berbentuk batang. Uji degradasi dilakukan secara elektrokimia menggunakan larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) dengan metode *Polarization Potentiodynamic (Tafel)* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan uji struktur mikro dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS), pemetaan distribusi unsur (*Mapping*), serta identifikasi fasa dengan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil menunjukkan bahwa laju degradasi Mg-5Al meningkat menjadi 21,278 mmpy, dan Mg-5Al-3Sn menjadi 22,916 mmpy dibandingkan Mg *pure* dengan laju degradasi hanya 6,1699 mmpy. Pada pengamatan struktur mikro penambahan unsur Al dan Sn membentuk fasa sekunder yang bersifat katodik seperti Mg₁₇Al₁₂, Al-enriched dan Mg₂Sn, yang menyebabkan meningkatnya laju degradasi karena terjadi korosi galvanik mikro.

Kata Kunci: Laju degradasi, *Mechanical Alloying* Mg-5Al dan Mg-5Al-3Sn, Struktur Mikro.

ABSTRACT

Anisa Ruaidah

NIM. 211720031

Studi Perbandingan Laju Degradasi dan Struktur Mikro *Mechanical Alloying* Mg-5Al dan Mg-5Al-3Sn dengan Mg *Pure* Hasil Metalurgi Serbuk dan *Hot Ekstrusi* sebagai Alternatif Material Implan Tulang

The addition of alloying elements to magnesium (Mg) has become one of the options to improve its strength and degradation rate as a candidate for biodegradable bone implant material. Strength enhancement has been achieved in previous studies; however, the effect on degradation is the main objective of this research. Mg, Al, and Sn metal powders were processed through mechanical alloying, with the addition of 5 wt.% Al and 3 wt.% Sn, followed by warm compaction and hot extrusion to produce rod-shaped samples. Degradation testing was carried out electrochemically using Simulated Body Fluid (SBF) solution with the Potentiodynamic Polarization (Tafel) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) methods, while microstructural characterization was analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), elemental distribution mapping, and phase identification with X-Ray Diffraction (XRD). The results showed that the degradation rate of Mg-5Al increased to 21.278 mmpy, and Mg-5Al-3Sn reached 22.916 mmpy, compared to pure Mg with a degradation rate of 6.1699 mmpy. On the appearance of microstructure addition of Al and Sn formed secondary cathodic phases such as $Mg_{17}Al_{12}$, Al-enriched phases, and Mg_2Sn , which accelerated the degradation rate due to micro-galvanic corrosion.

Keywords: *Degradation rate, Mechanical alloying Mg-5Al and Mg-5Al-3Sn, Microstructure.*

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Bersama dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dan diajukan pada Program Studi Fisika Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten ini sepenuhnya asli merupakan karya tulis ilmiah saya.

Adapun tulisan maupun pendapat orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah saya sebutkan kutipannya secara jelas dengan etika keilmuan yang berlaku di bidang penulisan karya ilmiah.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi skripsi ini merupakan hasil perbuatan plagiarisme atau mencontek karya orang lain, saya bersedia untuk menerima sanksi berupa pencabutan gelar kesarjanaan yang saya terima ataupun sanksi akademik lain sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Serang, 22 September 2025



STAMP: UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN MAULANA HASANUDDIN BANTEN
ANX048982276

Anisa Ruaidah
NIM. 211720031

Nomor : -
Lampiran : Satu (1)
Perihal : Pengajuan Munaqasah
a.n Anisa Ruaidah
NIM. 211720031

Kepada Yth.
Dekan Fakultas Sains
UIN SMH Banten
di-
Serang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dipermaklumkan dengan hormat, bahwa setelah membaca dan menganalisa serta mengadakan koreksi seperlunya, kami berpendapat bahwa skripsi saudara Anisa Ruaidah dengan NIM.211720031 yang berjudul "Studi Perbandingan Laju Degradasi dan Struktur Mikro *Mechanical Alloying* Mg-5Al dan Mg-5Al-3Sn dengan Mg *Pure* Hasil Metalurgi Serbuk dan *Hot Ekstrusi* sebagai Alternatif Material Implan Tulang" telah dapat diajukan sebagai salah satu syarat untuk melengkapi ujian munaqasyah pada Fakultas Sains Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Demikian atas segala perhatian Bapak kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Serang 22 September 2025

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Muhamad Fajar Muarif, M.Sc.
NIP. 199402142022031002

Dr. Ir. Iwan Setyadi, M.T.
NIP. 196910281994031005

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

“STUDI PERBANDINGAN LAJU DEGRADASI DAN STRUKTUR
MIKRO *MECHANICAL ALLOYING* Mg-5Al DAN Mg-5Al-3Sn DENGAN
Mg *PURE* HASIL METALURGI SERBUK DAN *HOT EKSTRUSI*
SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL IMPLAN TULANG”

Oleh:

Anisa Ruaidah
NIM. 211720031

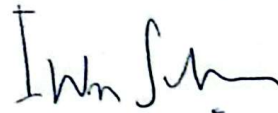
Menyetujui,

Pembimbing I,



Muhamad Fajar Muarif, M.Sc.
NIP. 199402142022031002

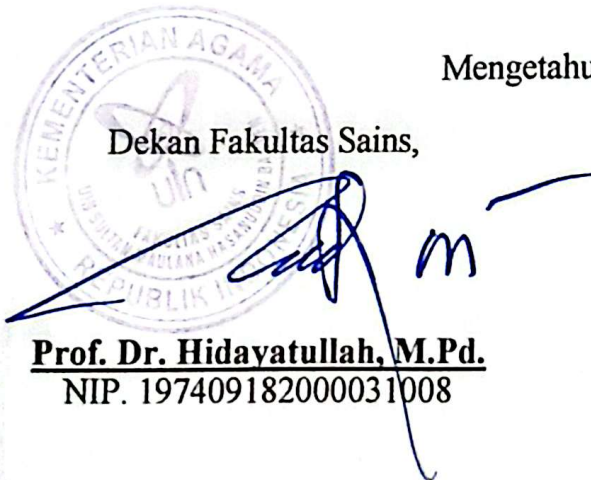
Pembimbing II,



Dr. Ir. Iwan Setyadi, M.T.
NIP. 196910281994031005

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains,



Prof. Dr. Hidayatullah, M.Pd.
NIP. 197409182000031008

Ketua Program Studi,



Elsi Ariani, M.Si.
NIP. 198901232018012001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi a.n. Anisa Ruaidah, NIM: 211720031 yang berjudul “Studi Perbandingan Laju Degradasi dan Struktur Mikro *Mechanical Alloying* Mg-5Al dan Mg-5Al-3Sn dengan Mg *Pure* Hasil Metalurgi Serbuk dan *Hot Ekstrusi* sebagai Alternatif Material Implan Tulang” telah diujikan dalam Ujian Tugas Akhir Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten pada tanggal 02 Oktober 2025.

Skripsi tersebut telah disahkan dan diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Serang, 02 Oktober 2025

Pembimbing I,



Muhamad Fajar Muarif, M.Sc.

NIP. 199402142022031002

Penguji I,



Fina Fitratun Amaliyah, M.Sc.

NIP. 199002102025052002

Pembimbing II,



Dr. Ir. Iwan Setyadi, M.T.

NIP. 196910281994031005

Penguji II,



Beta Nur Pratiwi, M.Si.

NIP. 199301022023212036

Ketua Penguji,



Elsi Ariani, M.Si.

NIP. 198901232018012001

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Anisa Ruaidah, lahir di Serang, 04 oktober 2004. Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Abdul Kabir dan Ibu Asmariyah.

Penulis memulai pendidikan formal di SDN Domas 1, lulus tahun 2015. Kemudian melanjutkan pendidikan di MTs Al-Khairiyah Pontang, lulus tahun 2018. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Pontang, lulus tahun 2021. Kemudian melanjutkan studi ke jenjang S1-Fisika di UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi, seperti Senat Mahasiswa pada lingkup Fakultas Sains pada tahun 2023, dan mengikuti kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) di Pusat Riset Material Maju Kelompok Riset Biokompatible BRIN-Serpong tahun 2024.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, persembahkan skripsi ini untuk orang-orang yang telah memberikan dukungan dan kontribusi banyak selama perjalanan panjang ini. Terima kasih kepada Allah SWT., kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan do'a dan dukungan, kepada orang spesial dan teman-teman yang sudah berjuang bersama dalam perjalanan panjang ini, dan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan yang tak ternilai dan amat sangat berarti. Skripsi ini saya persembahkan untuk kalian semua. Terima kasih atas segala cinta dan dukungan.

Terimakasih

MOTTO

“Selalu ingat bahwa kendali hidupku bukan berada pada genggamanku,
tapi berada dalam kendali Allah yang mengatakan:

Bagiku semua itu mudah”

(Q.S Maryam : 9)

“Jalani hidupmu seolah semuanya dirancang untuk kebaikanmu”

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim

Segala puji hanya bagi Allah SWT., yang telah memberikan taufik, hidayah, serta inayah-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat beserta salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah SAW., keluarga, para sahabat serta pengikutnya. Skripsi yang berjudul Studi Perbandingan Laju Degradasi dan Struktur Mikro *Mechanical Alloying* Mg-5Al dan Mg-5Al-3Sn dengan Mg *pure* Hasil Metalurgi Serbuk dan *Hot Ekstrusi* sebagai Alternatif Material Implan Tulang merupakan skripsi yang diajukan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Program Studi Fisika Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Muhammad Ishom, S.Ag., M.A., Rektor UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar dan merasakan dalamnya keilmuan di perguruan tinggi.
2. Bapak Prof. Dr. Hidayatullah, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Sains yang telah mendukung penyelesaian studi dengan lancar.
3. Ibu Elsi Ariani, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah memberikan izin dan fasilitas selama penulis menempuh studi.
4. Bapak Muhamad Fajar Muarif, M.Sc., selaku Pembimbing I yang telah sabar dalam memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis. Terimakasih untuk setiap solusi, saran dan masukan yang diberikan pada saat proses menyelesaikan skripsi ini, serta memberikan banyak bekal ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
5. Bapak Dr. Ir. H. Iwan Setyadi, M.T., selaku pembimbing II yang telah membimbing dan memberi arahan serta mempercayakan penelitian kepada

penulis, juga memberikan pengalaman dan pengetahuan baru yang sangat bernilai untuk penulis.

6. Bapak Dr. Ir. I Nyoman Jujur, M.Eng., selaku ketua Kelompok Riset Biokompatible, Pusat Riset Material Maju – BRIN. Atas izin, arahan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis selama penelitian berlangsung.
7. Bapak Mirza Wibisono, M.T., selaku pembimbing lapangan pada saat penulis memulai penelitian, terimakasih atas pendampingan, bimbingan teknis, dan segala bentuk bantuan selama pelaksanaan penelitian di laboratorium.
8. Seluruh Dosen Fakultas Sains dan staf akademik yang sudah turut terlibat dalam proses perkuliahan penulis, terimakasih untuk setiap pembelajaran dan ilmu yang bermanfaat.
9. Diri sendiri, Anisa Ruaidah. Terimakasih sudah kuat dan bertahan sejauh ini dengan berbagai rintangan dan hantaman yang ada, selalu mau mencoba dan tidak memilih menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini. Berbahagilah selalu dimanapun berada, apapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.
10. Orang tua dan seluruh keluarga yang sudah bersedia membantu dan mendo'akan penulis, terutama kepada bibi tercinta Malul Chayat, S.Pd., yang telah memberikan dukungan moral dan materi yang sangat bernilai selama penulis menjalani proses perkuliahan.
11. Seseorang yang tidak kalah penting, Muhamad Ilham. Terimakasih telah mendukung, menemani dan berkontribusi untuk penulis baik tenaga dan waktu, sebagai motivator terbaik, penyemangat, tempat berkeluh kesah, sehingga penulis mampu dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Adik kesayangan penulis, Anita Nur Humaeroh, terimakasih sudah menjadi adik yang kuat, sudah bersedia menjadi tempat berkeluh kesah, semoga tumbuh dan hidup lebih baik dari penulis.
13. Teman-teman penulis, Lean Safitri, Dewi Safitri, Yerintina Meylani,

Nurhasanah, Reigina Afrillia. Terimakasih sudah berjuang bersama dalam proses panjang ini, semoga segala harapan dan impian lekas tercapai.

Terimakasih kepada pihak pihak yang sudah bersedia membantu yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan masukan sangat diterima untuk perbaikan selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi kita semua.

Serang, 02 Oktober 2025

Anisa Ruaidah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian	6
1. Manfaat Teoritis	6
2. Manfaat Praktis.....	7
BAB II LANDASAN TEORI	8
A. Kajian Teori	8
1. Biomaterial	8
2. Material <i>Biodegradable</i>	11
3. Magnesium (Mg).....	12

4. Paduan Magnesium.....	13
4.1 Pengaruh Unsur Al.....	14
4.2 Pengaruh Unsur Sn.....	16
5. Metalurgi Serbuk.....	16
6. <i>Hot Ekstrusi</i>	17
7. Korosi.....	20
7.1. Korosi pada Mg.....	22
7.2. Korosi Galvanik	23
8. Uji <i>Electrochemical Corrosion</i>	25
8.1 <i>Elektrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	27
8.2 <i>Polarization Potentiodynamic (Tafel)</i>	30
9. Uji Struktur Mikro (SEM, EDS, <i>Mapping</i>).....	32
10. Uji XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	34
B. Hasil Penelitian yang Relevan	35
C. Kerangka Berpikir.....	37
D. Hipotesis	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	40
B. Alat dan Bahan.....	40
C. Prosedur Kerja	42
D. Jenis Metode Penelitian.....	46
E. Teknik Pengumpulan Data.....	46
F. Teknik Analisis Data.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
A. Hasil Uji <i>Electrochemical Corrosion</i>	52
1. <i>Polarization Potentiodynamic (Tafel)</i>	52
2. <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	55
B. Hasil Uji Struktur Mikro.....	58

C. Hubungan Struktur Mikro dengan Laju Degradasi.....	69
BAB V PENUTUP	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh implan logam: (a) implan panggul, bahu dan sikut, (b) implan lutut, (c) pelat tengkorak.	8
Gambar 2.2 Proses pemadatan (kompaksi).	177
Gambar 2.3 Prinsip kerja <i>Hot Ekstrusi</i>	188
Gambar 2.4 Rangkaian alat uji potensiostat.	19
Gambar 2.5 Contoh <i>nyquist plot</i> dan <i>Circuit Equivalent</i>	30
Gambar 2.6 Contoh kurva <i>Polarization Potentiodynamic</i>	310
Gambar 2.7 Prinsip Kerja SEM.	332
Gambar 2.8 Prinsip kerja EDX.	332
Gambar 2.9 Prinsip kerja XRD.	354
Gambar 2.10 Diagram alir penelitian.	387
Gambar 3.1 Lokasi penelitian.	40
Gambar 3.2 Diagram alir prosedur kerja.	42
Gambar 3.3 Diagram alir teknik pengumpulan data.	47
Gambar 3.4 Diagram alir teknik analisis data.	50
Gambar 4.1 Kurva Tafel dari sampel Mg-5Al, Mg-5Al-3Sn dan Mg <i>pure</i>	53
Gambar 4.2 Diagram Nyquist plot dari sampel Mg-5Al, Mg-5Al-3Sn dan Mg <i>pure</i>	56
Gambar 4.3 Gambar SEM dari sampel Mg-5Al beserta EDS dan <i>mapping</i> pada perbesaran 100 X.	59
Gambar 4.4 Gambar SEM dari sampel Mg-5Al-3Sn beserta EDS dan <i>mapping</i> pada perbesaran 100 X.	60
Gambar 4.5 Gambar SEM dari sampel Mg <i>pure</i> pada perbesaran 100 X.	60
Gambar 4.6 Gambar SEM dari sampel Mg-5Al beserta EDX point.	64
Gambar 4.7 Gambar SEM dari sampel Mg-5Al-3Sn beserta EDX point.	66
Gambar 4.8 Pola XRD dari sampel Mg-5Al, Mg-5Al-3Sn.	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Biomaterial dan Aplikasinya	10
Tabel 2.2 Sifat mekanik beberapa material implan.....	13
Tabel 2.3 Sifat-Sifat Aluminium.....	155
Tabel 2.4 Temperatur <i>Hot Ekstrusi</i> pada Beberapa Logam	19
Tabel 2.5 Tingkat Ketahanan Korosi berdasarkan Laju Korosi.....	276
Tabel 3.1 <i>Timeline</i> penelitian.....	39
Tabel 3.2 Alat dan bahan penelitian.....	40
Tabel 4.1 Nilai laju korosi hasil uji Tafel	55
Tabel 4.2 Nilai R_{ct} hasil uji EIS	57
Tabel 4.3 Komposisi unsur EDX point pada sampel Mg-5Al	64
Tabel 4.4 Komposisi unsur EDX point pada sampel Mg-5Al-3Sn.....	66