



**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

*"Alam Takambang Jadi Guru"*

**TUGAS AKHIR - MSN1.62.8004**

**EFEK ANNEALING PADUAN Mg-2Zn-1Mn UNTUK APLIKASI  
IMPLAN TERSERAP TUBUH**

**ALDI FIRMANTO**

**19338005/2019**

**Dosen Pembimbing**

**Andril Arafat, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN (NK)**

**Departemen Teknik Mesin**

**Fakultas Teknik**

**Padang**

**2023**

## PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**Judul** : Efek *Annealing* Paduan Mg-2Zn-1Mn untuk Aplikasi  
Implan Terserap Tubuh

**Nama** : Aldi Firmanto

**NIM** : 19338005

**Tahun Masuk** : 2019

**Program Studi** : S1 Teknik Mesin (NK)

**Departemen** : Teknik Mesin

**Fakultas** : Teknik

Padang, November 2023

Disetujui Oleh,

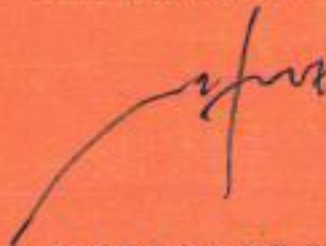
**Koordinator Program Studi**

S1 Teknik Mesin (NK)



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197607062003121001

**Dosen Pembimbing**



Andril Arafat, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIDN. 0004087708

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

*Dinyatakan lulus setelah mempertahankan Tugas Akhir di depan tim penguji  
Program Studi S1 Teknik Mesin (NK), Departemen Teknik Mesin, Fakultas  
Teknik, Universitas Negeri Padang*

**Judul** : Efek *Annealing* Paduan Mg-2Zn-1Mn untuk Aplikasi  
Implan Terserap Tubuh

**Nama** : Aldi Firmanto

**NIM** : 19338005

**Tahun Masuk** : 2019


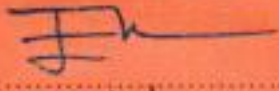

**Program Studi** : S1 Teknik Mesin (NK)

**Departemen** : Teknik Mesin

**Fakultas** : Teknik

Padang, November 2023

### Tim Penguji

Nama	Tanda Tangan
1. Ketua : Andril Arafat, S.T., M.Eng., Ph.D.	
2. Anggota : Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd.	
3. Anggota : Budi Syahri, S.Pd., M.Pd.T.	

## PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, Tugas Akhir dengan Judul “Efek *Annealing* Paduan Mg-2Zn-In untuk Aplikasi Implan Terserap Tubuh” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di Perguruan Tinggi lainnya,
2. Karya tulis ini murni gagasan, penelitian, dan rumusan saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji,
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat orang lain, kecuali dikutip secara terlutis dengan jelas dan tercantum pada daftar rujukan,
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila ada kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, November 2023

Saya yang menyatakan,



Aldi Firmanto

NIM. 19338005

## ABSTRAK

### **Aldi Firmanto, 2023 : Efek *Annealing* Paduan Mg-2Zn-1Mn untuk Aplikasi Implan Terserap Tubuh**

Kasus patah tulang sering terjadi, baik itu karena kecelakaan kerja, kecelakaan pengendara, terjatuh atau penyakit. Maraknya kejadian patah tulang ini memicu pentingnya sebuah implan tulang yang lebih baik untuk perawatan. Sebagian besar patah tulang ini terlalu rumit untuk diatasi dengan perawatan medis *eksternal*, oleh karena itu patah tulang tersebut harus diperbaiki melalui pembedahan dengan implan yaitu implan terserap tubuh, salah satu bahan implan terserap tubuh yang direkomendasikan adalah magnesium. Maka dari itu karena magnesium murni tidak memiliki kekuatan mekanis yang baik, Sehingga magnesium dipadukan dengan seng dan mangan dengan persentase yang sesuai mempunyai kelebihan dalam sifat-sifat mekanis maupun biologis untuk menutupi kekurangan tersebut. Penelitian ini adalah penelitian lanjutan, dimana peneliti sebelumnya telah membuat paduan Mg-2Zn-1Mn dengan proses pengecoran logam (*metal casting*). Sampel berupa *as-cast* ini perlu dilakukan proses perlakuan panas lanjutan yaitu proses anil (*annealing*) untuk menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki struktur partikelnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur proses *annealing* terhadap karakteristik paduan khususnya pada mikrostruktur dan nilai kekerasannya. Proses *annealing* dilakukan pada T=320°, dan 340°C selama 120 menit dan dilakukan pendinginan dalam tungku. Hasil *annealing* dilakukan dengan melihat mikrostruktur dan kekerasan, dari hasil mikrostruktur terlihat bahwa ukuran butir terkecil rata-rata sebesar 1.081µm, kekerasan tertinggi rata-rata sebesar 50,2 HV pada temperatur *annealing* 340°C, dan laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi pada *annealing* 320°C dengan laju korosi 0,69282 mm/tahun.

**Keywords:** *Mg-2Zn-1Mn, Annealing, Bioabsorbable Implant, Microstructure, Corrosion Rate, Hardness*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyusun Tugas Akhir dengan judul “**Efek Annealing Paduan Mg-2Zn-1Mn untuk Aplikasi Implan Terserap Tubuh**”.

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan penulis pada program studi S1 Teknik Mesin (NK) Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Penyusunan Tugas Akhir ini berkat adanya dorongan dari dalam diri penulis serta pihak yang memberikan semangat, motivasi dan arahnya, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Dafriman dan Ibu Fitrawati, beserta adik kandung Aldo Nofri Saputra dan Adzwa Try Rahmadhany yang selalu memberikan kasih sayang, do'a nasehat motivasi serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup penulis
2. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, sekaligus dosen peninjau I yang telah banyak memberikan motivasi dan supportnya dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis ini
3. Bapak Hendri Nurdin, M.T. selaku Penasehat Akademik penulis, yang memberikan nasehat, arahan dan dukungan kepada penulis
4. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin (NK) yang memberikan arahan dan dukungan kepada penulis.
5. Bapak Andril Arafat, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, pemikiran dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
6. Bapak Budi Syahri, S.Pd., M.Pd.T. selaku dosen peninjau II yang telah banyak memberikan motivasi dan supportnya dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis ini

7. Bapak Dr. Ahmad Kafrawi Nasution, M.T. selaku dosen peninjau III dari Universitas Muhammadiyah Riau yang telah banyak memberikan motivasi dan supportnya dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis ini
8. Bapak dan Ibu dosen beserta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
9. Untuk teman-teman seperjuangan, rekan-rekan mahasiswa/i angkatan 2019 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, selama 4 tahun yang telah kita lewati Bersama, merupakan kenangan yang tak terlupakan.
10. Rekan-rekan yang memberikan saran dan motivasi kepada penulis.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu memberikan dorongan, motivasi, arahan dan do'a kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, dengan sepenuh hati penulis sangat menghargai kritik dan saran yang dapat membangun. Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak memerlukannya.

Padang, November 2023

Penulis,

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>PERSETUJUAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan penelitian .....	4
F. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
A. Biomaterial .....	8
B. Jenis Biomaterial .....	9
C. Komposisi Tulang Manusia.....	14
D. Jenis Logam <i>Bioabsorbable</i> .....	15
E. Heat Treatment .....	17
F. <i>Annealing</i> .....	18

G. Karakterisasi.....	20
I. Kerangka Konseptual.....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
A. Diagram Alir Penelitian .....	38
B. Metode Penelitian.....	39
C. Objek Penelitian .....	39
D. Waktu dan Tempat Penelitian .....	39
E. Prosedur Pengujian .....	40
F. Instrumen Pengumpulan Data.....	50
G. Analisis Data .....	50
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>49</b>
A. Hasil Penelitian .....	49
B. Hasil Pengujian Mikrostruktur dengan Mikroskop Optik.....	49
C. Hasil Pengujian Korosi Metode Polarisasi Tafel.....	52
D. Pengujian Kekerasan.....	58
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>62</b>
A. Kesimpulan.....	62
B. Saran.....	62
<b>DAFTAR RUJUKAN.....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Skema Proses Annealing.....	19
Gambar 2. Prinsip Dasar Korosi .....	22
Gambar 3. Korosi Seragam.....	23
Gambar 4. Korosi Galvanik .....	23
Gambar 5. Korosi Celah.....	24
Gambar 6. Korosi Sumuran.....	24
Gambar 7. Korosi Erosi.....	25
Gambar 8. Korosi Tegangan .....	25
Gambar 9. Korosi Selektif.....	26
Gambar 10. Korosi Batas Butir.....	26
Gambar 11. Bentuk Indentasi dari Uji Microvickers.....	31
Gambar 12. Kurva Polarisasi pada Korosi.....	31
Gambar 13. Kurva Polarisasi pada Digram Tafel .....	32
Gambar 14. Diagram Alir .....	38
Gambar 15. Lanjutan Diagram Alir .....	39
Gambar 16. Spesimen <i>as-cast</i> Paduan Mg-2Zn-1Mn.....	41
Gambar 17. Hofman Furnance.....	42
Gambar 18. Mikroskop Optik Carl Zeiss (Promotech D/A pol).....	42
Gambar 19. Microvickers (Future tech FM 800).....	43
Gambar 20. Mesin Grinding Dan Polishing (FTP-2M) .....	43
Gambar 21. Alat Metrohm I stat 8.400 .....	44
Gambar 22. Metrohm I stat 8.400 (alat uji potensio stat portable).....	47
Gambar 23. Jejak Tekan Microvickers .....	49
Gambar 24. (a) Paduan Mg-2Zn-1Mn As-Cast, (b) Paduan Mg-2Zn-1Mn Annealing 320°C (c) Paduan Mg-2Zn-1Mn Annealing 340°C.....	50
Gambar 25. Analisa Ukuran Butir Paduan Mg-2Zn-1Mn Menggunakan Software Image-J: (a) As-Cast, (b) Annealing 320°C, (c) Annealing 340 °C. .	50
Gambar 26. Kurva Tafel Polarisasi Potensiodinamik.....	53

Gambar 27. Spektrum EIS paduan Mg-2Zn-1Mn dalam Hank's Solution (a) Plot Nyquist, (b) Plot Bone (c) Rangkaian Fitting Spektrum EIS.....	54
Gambar 28. Nilai Kekerasan Paduan Mg-2Zn-1Mn: (a) As-Cast, (b) Annealing 320°C, (c) Annealing 340 °C .....	59

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Biomaterial Logam Dan Aplikasinya .....	10
Tabel 2. Biomaterial Polimer Dan Aplikasinya .....	11
Tabel 3. Biomaterial Komposit Dan Aplikasinya .....	12
Tabel 4. Biomaterial Keramik Dan Aplikasinya.....	13
Tabel 5. Data Laju Korosi Metoda Potensio Dinamic .....	47
Tabel 6. Model Microvickers.....	48
Tabel 7. Data Mikro Struktur.....	51
Tabel 8. Laju Korosi pada Mg-2Zn-1Mn, dalam Larutan Hanks .....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Lampiran Surat Izin Penelitian Fakultas .....	75
Lampiran 2. Lampiran Surat Izin Penelitian Laboratorium .....	76
Lampiran 3. Pemotongan Spesimen Mg-2Zn-1Mn .....	77
Lampiran 4. Polishing dan Grinding .....	78
Lampiran 5. Pengujian Annealing .....	78
Lampiran 6. Pengujian Mikrostruktur .....	79
Lampiran 7. Pengujian Korosi .....	79
Lampiran 8. Pengujian Kekerasan .....	81
Lampiran 9. Bukti Konsultasi .....	84

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Kasus patah tulang sering terjadi, baik itu karena kecelakaan kerja, kecelakaan pengendara, terjatuh atau penyakit, maraknya kejadian patah tulang ini memicu pentingnya sebuah implan tulang yang lebih baik untuk perawatan. (Kamrani & Fleck, 2019) Pengobatan patah tulang biasanya dilakukan dengan pemasangan penutup patah tulang. Kelemahannya ada pada proses operasi kedua ketika pembukaan penutup patah itu dimana terkadang pasien tersebut dalam kondisi menderita penyakit lain ataupun sudah pada masa lansia yang dapat mengakibatkan timbulnya penyakit baru dan memperlama proses penyembuhan (Han dkk., 2019).

Namun dengan kemajuan keilmuan saat sekarang ini dunia ortopedi telah mengembangkan bahan implan yang dapat luruh dalam tubuh sehingga langsung menyatu dalam tubuh tanpa diperlukan operasi untuk mengangkatnya kembali (Hu dkk., 2022a).

Salah satu biomaterial yang banyak dan sering digunakan dalam bidang kesehatan adalah logam lebih tepatnya logam *biodegradable* atau *bioabsorbable*. Istilah “logam *biodegradable* atau *bioabsorbable*” mengacu pada nanomaterial logam yang dapat terdegradasi dan saat ini sedang dieksplorasi dan dikembangkan secara ekstensif (Chen dkk, 2014).

Jika tubuh kekurangan Mg maka akan memiliki dampak buruk terhadap

tulang. Hal ini didukung oleh (Castiglioni dkk., 2013) dalam penelitiannya yang menyatakan akibat dari kekurangan Mg dalam tulang memberikan dampak buruk terhadap tulang diantaranya mengurangi kekuatan tulang dan dapat meningkatkan kemungkinan terkena *osteoporosis* atau pengeroposan tulang.

Mg juga memiliki kekurangan yaitu kecepatan luruhnya yang tinggi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kecepatan luruhnya yaitu dengan cara pemaduan (*Magnesium Alloy*) (Staiger dkk., 2006). Salah satu bentuk pemaduan yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan Zn (Zinc). Penambahan Zinc juga dikarenakan kedua unsur tersebut merupakan unsur yang diperlukan oleh tulang, yaitu untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan yang baik serta dapat diserap oleh tubuh, Mn mempunyai kekuatan yang tinggi, keuletan yang tinggi serta penyempurnaan dalam butir.

Untuk mendapatkan paduan yang tepat dan memperbaiki sifat mekanik dari magnesium, maka dipadukan dengan mangan, pengaruh penambahan mangan memiliki kekuatan Tarik yang baik, keuletan yang baik, serta tingkat kehalusan butir yang halus. Namun penambahan unsur mangan yang melebihi ambang batas maka dapat menyebabkan *neurotoxic* dalam konsentrasi yang tinggi (Salvetr dkk., 2016).

Oleh karena itu, penulis berpikir untuk melakukan penelitian yang mengkaji efek temperatur *annealing* paduan Mg-2Zn-1Mn dengan variasi temperatur 320°C dan 340°C. Jadi, berdasarkan uraian diatas, maka penulis mengajukan

judul penelitian tentang “Efek *Annealing* Paduan Mg-2Zn-1Mn untuk Aplikasi Implan Terserap Tubuh”.

## **B. Identifikasi masalah**

Implan terserap tubuh telah mengalami perkembangan yang signifikan, khususnya pada paduan magnesium. Diketahui logam magnesium murni memiliki kecepatan luruhnya yang tinggi sehingga dilakukan penambahan dengan menggunakan seng dan mangan. Namun, penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan seng dan mangan. Namun, penelitian tersebut dilakukan dalam bentuk *casting*, oleh karena itu, diperlukan pengujian lanjutan untuk dilaporkan perubahan yang terjadi setelah dilakukan *annealing* untuk mengetahui perbedaan yang nantinya akan dilakukan dengan dua variasi temperatur yang digunakan supaya mendapatkan perbandingan yang dilakukan dalam waktu 120 menit yang kemudian dianalisa mikrostruktur, laju korosi, dan kekerasannya. Sehingga diketahui sifat-sifat bahan ini sesuai untuk aplikasi implan terserap tubuh atau tidak.

## **C. Batasan Masalah**

Untuk mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka dalam penelitian ini akan dibatasi beberapa batasan penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Spesimen yang di amati berjenis logam Mg-2Zn-1Mn
2. Mikrostruktur dilihat menggunakan mikroskop optik
3. Laju korosi dilakukan dengan metode potensiodinamik
4. Kekerasan dilakukan dengan menggunakan *microvickers*

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi dan pembatasan masalah diatas, maka rumusan pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana bentuk mikrostruktur paduan Mg-2Zn-1Mn yang di hasilkan setelah di *annealing*?
2. Berapa kecepatan laju korosi spesimen paduan Mg-2Zn-1Mn sebagai implan tulang?
3. Bagaimana kekerasan yang terdapat pada paduan Mg-2Zn-1Mn *bioabsorbable*?

#### **E. Tujuan penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui bentuk dan ukuran butir pada paduan Mg-2Zn-1Mn
2. Mengetahui laju korosi (*corrosion rate*) spesimen paduan Mg-2Zn-1Mn
3. Mengetahui kekerasan masing-masing spesimen Mg-2Zn-1Mn dengan membandingkan dengan *as-cast*, *annealing* 320°C dan 340°C.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Bagi Universitas, menambah data hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur *annealing* paduan Mg-2Zn-1Mn.
2. Bagi mahasiswa yaitu penelitian ini dapat di manfaatkan sebagai ilmu pengetahuan untuk meningkatkan serta menambahkan wawasan khususnya pengaruh temperatur efek *annealing* paduan Mg-2Zn-1Mn, Selain itu juga

dapat di jadikan topik rujukan untuk pengembangan ke penelitian selanjutnya.

3. Bagi penulis yaitu penelitian ini dapat di manfaatkan sebagai penambahan ilmu di bidang pengaruh temperatur efek *annealing* paduan Mg-2Zn-1Mn, kontribusi ke ilmuan sebagai salah satu alternatif pengembangan material *bioabsorbable implant*.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang diuraikan pada BAB IV, maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Semakin tinggi temperatur *annealing* dan dengan waktu tahan yang diberikan maka akan memperoleh jumlah butir yang banyak dengan ukuran yang semakin kecil, rapat, padat. Dari hasil mikrostruktur terlihat bahwa ukuran butir terkecil rata-rata sebesar 1.081  $\mu\text{m}$ .
2. Kekerasan yang semakin tinggi, variasi temperatur dan waktu tahan yang diberikan menghasilkan ukuran butir dan kekerasan yang optimal adalah di variasi *annealing* 340°C, kekerasan tertinggi rata-rata sebesar 50,2 HV pada temperatur *annealing* 340°C.
3. Dan laju korosi (*corrosion rate*) tertinggi pada *annealing* 320°C dengan laju korosi 0,69282 mm/tahun.

#### B. Saran

Penelitian ini, hanya sebagai awal setelah dilakukannya (*metal casting*) dalam pengembangan *bioabsorbable implant* menggunakan proses *annealing*. Oleh karena itu penulis berharap dapat dilanjutkan untuk ke tahap penyempurnaan berikutnya dengan lebih memperbanyak pemenuhan syarat pengujian yang dibutuhkan untuk paduan Mg-2Zn-1Mn sebagai bahan *absorbable implant*, seperti pengujian rolling dan ekstrusi dan simulasi dengan daging manusia. Dalam pelaksanaan penelitian ini kelengkapan peralatan sangat dibutuhkan.

Oleh sebab itu penulis juga menyarankan untuk menambah peralatan-peralatan dan meningkatkan standar yang ada di Laboratorium yang ada di Departemen Teknik Mesin khususnya, dan Laboratorium lainnya. Sehingga dengan kedepannya penelitian yang dilakukan mahasiswa atau dosen berjalan dengan lebih baik. Selain itu penulis juga berharap agar penelitian selanjutnya melakukan pengembangan dan variasi yang lebih baik untuk paduan magnesium dengan kombinasi logam lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abdal-hay, A., Khalil, K. A., Hamdy, A. S., & Al-Jassir, F. F. (2017). Fabrication of highly porous biodegradable biomimetic nanocomposite as advanced bone tissue scaffold. *Arabian Journal of Chemistry*, *10*(2), 240–252.
- Adrian, A. (2009). *Perilaku Korosi Material Baja Paduan Akibat Pengaruh Kondensat yang Berasal Dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*.
- Alawad, M. O., Alateyah, A. I., El-Garaihy, W. H., BaQais, A., Elkatatny, S., Kouta, H., Kamel, M., & El-Sanabary, S. (2022). Optimizing the ECAP Parameters of Biodegradable Mg-Zn-Zr Alloy Based on Experimental, Mathematical Empirical, and Response Surface Methodology. *Materials*, *15*(21), 7719. <https://doi.org/10.3390/ma15217719>
- Annur, D., & Lestari, F. P. (2015). Studi Penambahan Unsur Ca Pada Paduan Biner Mg-Ca terhadap Pembentukan Fasa dan Korosi In-Vitro Untuk Aplikasi Implan Mampu Luruh [Study of Calcium Addition in Mg-Ca Binary Alloy in Phase Transformation and in-Vitro Corrosion For Biodegradable Implant]. *Metalurgi*, *30*(2), 63–70.
- Arafat, A., Idris, M. H., Abdul Kadir, M. R., & Jafari, H. (2014). Characterisation of calcium phosphate coating on investment cast 316L stainless steel. *Materials Research Innovations*, *18*(sup2), S2-886-S2-891. <https://doi.org/10.1179/1432891714Z.000000000528>
- Ashari, A. M., Lestari, F. P., Hakim, R. N., Mulyati, I., Thaha, Y. N., Kartika, I., & Basuki, E. A. (t.t.). *STUDY ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Mg-Zn-Fe-Cu- Co AS HIGH ENTROPY ALLOYS FOR URETERAL IMPLANT*.