

**ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN SENG
(Zn) *BIODEGRADABLE* UNTUK APLIKASI IMPLAN BIOMEDIS**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



Oleh:

NURFITRI RAHMI SARI

NIM. 15067042/2015

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

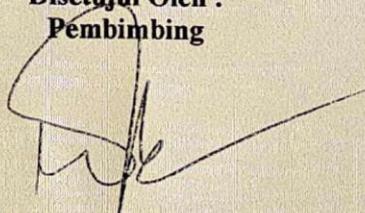
**ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN SENG (ZN)
BIODEGRADABLE UNTUK APLIKASI IMPLAN BIOMEDIS**

Oleh :

Nama : Nurfitri Rahmi Sari
NIM/TM : 15067042/2015
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

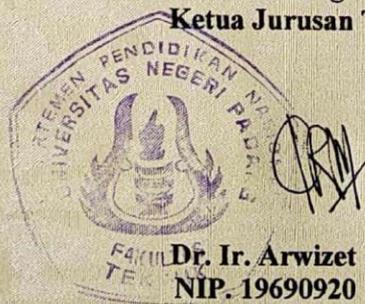
Padang, 13 Agustus 2019

**Disetujui Oleh :
Pembimbing**



**Prof. Dr. Nizwardi Jalinus, M.Ed.
NIP. 19520822 197710 1 001**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.
NIP. 19690920 199802 1 001**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

JUDUL :

**ANALISA KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN SENG (ZN)
BIODEGRADABLE UNTUK APLIKASI IMPLAN BIOMEDIS**

Oleh :

Nama : Nurfitri Rahmi Sari
NIM/TM : 15067042/2015
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, 13 Agustus 2019

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

1. **Prof. Dr. Nizwardi Jalinus, M.Ed.**

1.

2. **Dr. Refdinal, M.T.**

2.

3. **Hendri Nurdin, M.T.**

3.

HALAMAN PERSEMBAHAN

First of all i would like to say thank you so much to Allah that always gives me health and also give me that chance to study in UNP. It has been 5 years I am in campus cause I was a new student twice. But it is ok... cause everyone has their own way... enjoy with that.

I am very grateful cause Allah gives me the best parents in this world. They are my Amak (Mardiati) and my Abak (Joni Ardi). My parents always support me whatever the situation, they always pray the best for my future, they are always giving the best for me... I believe when I said to my mother I passed in the final examination, my mother was very happy and I believe my father too, and also my brother (Julio Lukmanul Ardi) and all of my families happy with that. Thanks for all my families that always supports me.

I am very grateful cause I meet so many people that are very kind to me. Thanks to buk Primawati S. Si., M,Si that always gives me the spirit and that for being my academic supervisor for 5 years. Thanks to Prof. Dr. Nizwardi Jalinus, M.Ed. that supports me and thanks for being my supervisor. And also thanks to pak Andril Arafat, S.T., M.Eng., Ph.D. for being my supervisor it has been 1 year, thanks for your support and I get so much knowledge from you, thanks for believe with my ability. Thanks to pak Dr. Ambiyar, M.Pd. that always

support me when I meet him. And also all of the lectures that gives the experiences and knowledge for me...

Thanks for Indri Lidiya Putri, Nurhaliza, Hanum, Dilla and all of my friends from 2014 and 2015 in Mechanical Engineering that I cannot mention your name one by one.

Thanks for all of my friends in ELECTRA that always supports me, believe in my ability, have the same thought which is WE WANT TO BE SUCCESS...

It is not easy to get something that extraordinary... we have to workhard, study harder, practice our knowledge... sometimes we feel pain, but it is okay, cause I believe PAIN TODAY, PRIDE TOMORROW.

Do not ever compare our self with each others cause every result that we get it is from our work. Whatever the situation we have to be grateful cause we can conquer that problem if we always praying and doing the best future. LIFE IS HARD BUT ITS HARDER IF YOU CHOOSE THE EASIEST WAYS...

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurfitri Rahmi Sari

NIM/ TM : 15067042/ 2015

Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Seng (Zn) Biodegradable untuk Aplikasi Implan Biomedis**” adalah karya saya sendiri, dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang maupun Perguruan Tinggi lainnya. Pada karya tulis ini, tidak terdapat karya atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan mengutip tata cara penulisan karya ilmiah

Padang, Agustus 2019



menyatakan,

Nurfitri Rahmi Sari
15067042/2015

ABSTRAK

Nurfitri Rahmi Sari (2019) : Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Seng (Zn) *Biodegradable* untuk Aplikasi Implan Biomedis

Biomaterial sebagai salah satu pengembangan teknologi bahan untuk aplikasi dibidang biomedis mengalami perkembangan yang pesat beberapa dekade ini. Perkembangan biomaterial pada aplikasi medis banyak dilakukan seperti pada kasus patah tulang (*plate and screw*), cincin jantung (*stent*), implant gigi (*dental*) dan lain-lain. Salah satu biomaterial yang dikembangkan adalah *biodegradable implant*, yaitu bahan implan yang dipasang dan dapat terserap tubuh dalam waktu yang telah dirancang sehingga tidak perlu operasi lanjutan untuk pengeluaran implan.

Paduan seng (Zn) adalah salah satu potensi *biodegradable* implan telah dikembangkan yakni dengan menambahkan unsur magnesium 1% (Mg) dan Aluminium 0,5% (Al); Zn-1Mg dan Zn-0,5Al. Paduan ini telah diproses dengan peleburan logam dalam keadaan *vacuum* di institusi mitra yaitu Laval University, Canada, dikembangkan lebih lanjut dengan proses *rolling* di Universitas Negeri Padang. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbandingan nilai kekerasan dengan menggunakan alat uji *Micro Vickers Hardness Tester* serta melihat ukuran dan menghitung jumlah butir paduan menggunakan *software Image J*. Berdasarkan uji kekerasan dan struktur mikro paduan Zn-1Mg kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan paduan Zn-0,5Al. Dari hasil image J jumlah ukuran butir Zn-1Mg *as-rolled* 6743 butir, untuk Zn-0,5Al *as-rolled* diperoleh 2105 butir. Semakin banyak jumlah butir dan kecil ukuran butir yang dihasilkan, maka nilai kekerasannya semakin meningkat. Hasil penelitian dasar ini diharapkan untuk dilanjutkan sehingga menjawab keperluan bahan *biodegradable* implan nantinya dan paduan dari seng (Zn) ini berpotensi untuk aplikasi implan biomedis.

Kata Kunci : Kekerasan, Struktur Mikro, Biodegradable, Seng (Zn)

KATA PENGANTAR

Berkat Rahmat dan Kurnia Allah Subhaanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Seng (Zn) Biodegradable Untuk Aplikasi Implan Biomedis**”. Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan Allah Subhaanahu Wa Ta'ala kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya ilmu pengetahuan, aqidah dan berakhlak baik.

Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi penelitian ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan perhatian dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nizwardi Jalinus, M.Ed. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Andril Arafat, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini
3. Ibu Primawati S. Si., M.Si selaku dosen Penasehat Akademik
4. Bapak Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

5. Bapak Dr. Refdinal, M.T. selaku dosen peninjau I
6. Bapak Hendri Nurdin, M.T. selaku dosen peninjau II
7. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan semangat, dukungan moril, materil, serta kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini
8. Teman-teman seperjuangan di Jurusan Teknik Mesin
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini, banyak terdapat kekurangan mengingat keterbatasan pengetahuan yang dimiliki dan hambatan yang dialami oleh penulis dalam memperoleh sumber-sumber dan bahan-bahan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan dalam penulisan skripsi.

Padang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
PERNYATAAN	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Implan Biomedis	8
B. Biomaterial	12
C. Proses Manufaktur Implan	16
D. Penelitian yang Relevan.....	18

BAB III METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian	19
B. Jenis penelitian.....	20
C. Objek Penelitian	20
D. Tempat dan Waktu Penelitian	21
E. Alat dan Bahan	22
F. Proses Karakterisasi Paduan <i>As-cast</i>	22
G. Proses Persiapan Sampel untuk Struktur Mikro.....	24
H. Pengujian Kekerasan.....	26
I. Pengujian Struktur Mikro	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Kekerasan	29
B. Analisa Struktur Mikro	32
C. Hubungan antara Kekerasan dengan Struktur Mikro	38

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	40
B. Saran	41

DAFTAR PUSTAKA	42
-----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.. Diagram Alir Penelitian	19
2. Proses Karakterisasi	23
3. Sampel <i>as-cast</i> dan <i>as-rolled</i>	23
4. Pemotongan Sampel.....	24
5. <i>Mounting</i>	24
6. <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	25
7. Etsa.....	25
8. <i>Micro Vickers Hardness Tester</i>	26
9. Mikroskop Optik.....	28
10. Prinsip Pengujian	29
11. Perbandingan hasil uji kekerasan antara Zn-1Mg dengan Zn-0,5Al dengan proses <i>as-cast</i>	30
12. Perbandingan hasil uji kekerasan antara Zn-1Mg dengan Zn-0,5Al dengan proses <i>as-rolled</i>	31
13. Hubungan antara proses <i>as-cast</i> dengan <i>as-rolled</i>	32
14. Paduan Zn-1Mg <i>as-cast</i> dan <i>as-rolled</i> beserta struktur mikro	33
15. Hasil Image J Paduan Zn-1Mg 50X <i>as-cast</i>	34
16. Hasil Image J Paduan Zn-1Mg 50X <i>as-rolled</i>	34
17. Perbandingan antara Zn-1Mg <i>as-cast</i> dan <i>as-rolled</i>	35
18. Paduan Zn-0,5Al <i>as-cast</i> dan <i>as-rolled</i> dan struktur mikro	36
19. Hasil Image J Paduan Zn-0,5Al 50X <i>as-cast</i>	37

20. Hasil Image J Paduan Zn-0,5Al 50X <i>as-rolled</i>	37
21. Perbandingan antara Zn-0,5Al <i>as-cast</i> dengan <i>as-rolled</i>	38

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Aplikasi umum dari logam sebagai biomaterial	14
2. Penggunaan Polimer Untuk Aplikasi Biomedis	15
3. Penggunaan keramik untuk aplikasi biomedis	16
4. Etsa Untuk Zn dan Paduan Zn	26
5. Jejak Indentasi Uji Kekerasan	29
6. Hasil Uji Kekerasan Paduan Zn Pada Proses <i>As-cast</i>	30
7. Hasil Uji Kekerasan Paduan Zn Pada Proses <i>As-rolled</i>	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat Tugas Pembimbing	46
2. Lembaran Konsultasi	47
3. Surat Peminjaman Laboratorium Material Teknik dan Metrologi	50

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Biomaterial merupakan bahan yang berhubungan secara langsung dengan jaringan serta cairan tubuh manusia guna untuk mengobati, memperbaiki serta mengganti bagian anatomi tubuh manusia (Rodrigues dan Gonzales, 2009). Biomaterial yang digunakan salah satunya diaplikasikan dalam penanganan kasus patah tulang. Untuk kasus ini penderita patah tulang menggunakan implan. Implan merupakan biomaterial yang digunakan untuk penyembuhan patah tulang (Rodriguez dan Gonzales, 2009). Material untuk pembuatan implan terbagi dua yaitu *non-biodegradable* (tidak terserap dalam tubuh) dan *biodegradable* (terserap dalam tubuh).

Dalam dunia medis penggunaan logam *non biodegradable* banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan implan, tetapi bahan tersebut memiliki kekurangan yaitu potensi yang dapat mengakibatkan racun dalam tubuh manusia (Exley & Mold, 2015). Namun, setelah penderita patah tulang telah selesai masa penyembuhan, implan tersebut akan dibedah untuk dilepaskan kembali (Brar, dkk, 2009). Penggunaan bahan implan digunakan untuk aplikasi penahan beban terfokus pada bahan implan yang dapat diserap secara biologi atau dapat diserap oleh tubuh (Brar, dkk, 2009). Menurut (Waugh dan Lawrence, 2013) Semua bahan yang digunakan sebagai implan harus memenuhi persyaratan kecocokan dalam tubuh (biokompatibilitas).

Biomaterial terdegradasi merupakan kelas baru dalam biomaterial yang sangat memiliki efek biologi (bioaktif) dan diharapkan dapat mendukung proses penyembuhan dari jaringan atau organ yang sakit secara perlahan menurun setelahnya (Hermawan, 2012). Pada umumnya konsep dari biomaterial terdegradasi (*biodegradable*) sangat sederhana, beberapa implan hanya membutuhkan waktu jangka pendek guna mendukung proses penyembuhan jaringan yang sakit (Hermawan, 2012). Oleh karena itu, sangat diperlukan bahan *biodegradable* untuk pembuatan implan. Bahan *biodegradable* secara bertahap mampu meluruh (degradasi) dalam tubuh manusia untuk menghasilkan zat atau senyawa yang tidak bersifat racun yang dapat dieksresikan. Bahan polimer *biodegradable* telah lama digunakan dalam bidang kedokteran misalnya pada pembuatan serat reparasi jaringan yang rusak. Namun, bahan polimer *biodegradable* tidak sesuai untuk pembuatan sekrup, pelat atau fiksasi atau perbaikan patah tulang karena kekuatan dari polimer *biodegradable* ini masih rendah (Davis, 2013).

Penggunaan implan yang terserap tubuh (*biodegradable*) sedang banyak digunakan untuk menggantikan implan konvensional seperti SS (*Stainless Steel*), Co (kobalt) , Ti (titanium). Dalam penggunaan implan konvensional ini harus melalui operasi dua kali yaitu pada saat pemasangan implan dan pelepasan disaat tulang telah menyatu dan dalam waktu lama akan dapat menyebabkan racun dalam tubuh manusia.

Bahan untuk membuat implan adalah logam yang mampu terserap tubuh. Logam yang mampu terserap tubuh diharapkan untuk menimbulkan korosi secara bertahap tanpa bahaya, menjaga integritas mekanik selama fase penyembuhan jaringan, dan kemudian luruh sepenuhnya. Dalam dekade terakhir, besi dan magnesium (Mg), baik murni dan paduan, telah dipelajari secara ekstensif sebagai potensi logam mampu terserap tubuh untuk aplikasi medis. Untuk pembuatan implan tulang digunakan bahan logam *biodegradable*. Salah satu bahan dari *biodegradable* yang digunakan untuk pembuatan implan ini adalah paduan Mg. Paduan Mg ini merupakan penerapan dari *biodegradable* dan bahan yang mudah diserap tubuh (*bioabsorbable*) implan karena paduan ini memiliki modulus elastisitas yang cocok digunakan untuk aplikasi pada tulang. Kekurangan dari penggunaan bahan Mg murni yaitu rendahnya tingkat ketahanan korosi (Li, dkk, 2014). Untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sifat mekanik paduan Mg dapat digunakan campuran seng (Zn).

Penggunaan Mg sebagai material *biodegradable* (bahan yang mampu terserap tubuh) hingga kini semakin berkembang. Akan tetapi pada Mg terdapat kekurangan dalam pemakaiannya dalam material *biodegradable*, diantaranya yaitu degradation rate dari Mg tersebut yang tinggi sehingga ketika tulang yang diimplan belum terbentuk sempurna, Mg sudah terlarut. Serta *Mechanical Properties* Mg lebih rendah dari natural bone membuat logam Mg harus dipadukan dengan unsur lain agar sesuai dengan kondisi tulang pada tubuh manusia (Hidayat, 2017). Maka dari itu, guna memperkuat struktur serta

memberikan sifat tambahan lain pada Mg agar sesuai dengan spesifikasi tulang pada manusia perlu adanya bahan paduan lain.

Salah satu unsur yang penting di dalam tubuh manusia serta memberikan penguatan mekanis dalam paduan berbasis Mg adalah Zn. Baru-baru ini, Zn dan paduan berbasis Zn diusulkan sebagai tambahan baru ke dalam logam yang mampu terserap tubuh dan alternatif yang menjanjikan untuk Mg dan Aluminium (Al). Untuk itulah Zn ditambahkan ke dalam paduan untuk produk implan tulang permanen yang *biodegradable* ini. Selain untuk memperkuat struktur dan memberikan sifat tambahan, Zn dibutuhkan sebagai elemen pendukung sistem imun. Zn juga dapat meningkatkan ketahanan korosi serta sifat mekanik pada paduan berbasis Mg terutama melalui penguatan pengendapan (Abdulmalik, 2012). Selain itu, penambahan Zn juga dikarenakan unsur yang diperlukan oleh tulang serta dapat diserap oleh tubuh. Selain itu Al juga merupakan zat yang terkandung dalam tubuh manusia. Al ditemukan pada tulang manusia, disemua cairan tubuh termasuk darah, cairan tulang belakang, cairan intersititial otak, getah bening dan urin (Exley & Mold, 2015).

Pada penelitian ini menggunakan Zn sebagai paduan utama karena Zn merupakan bagian terpenting dalam tubuh manusia. Paduan Zn-Mg dan Zn-Al pada konsentrasi kurang dari 1% dapat meningkatkan sifat mekanik dan kekuatan serta keuletan yang memadai tanpa menggunakan unsur paduan yang dapat menyebabkan racun dalam tubuh (Levy,dkk, 2017). Paduan Zn *biodegradable* baru-baru ini telah dikembangkan di Laval *University* oleh Assoc. Prof. Dr.

Hendra Hermawan yang merupakan mitra UNP, karena adanya kerjasama (*Momerandum of Understanding–MoU*) antara pihak UNP dan Laval *University*. Hendra Hermawan sebagai pihak dari Laval *University* mengembangkan paduan Zn baru ini dengan proses *casting (alloying)*. Dalam rangka mengisi kegiatan *MoU* yang telah disepakati, maka dilakukan penelitian bersama dimana *as-cast* sample telah dikembangkan Laval *University*, dikirim ke UNP untuk dikembangkan dengan metoda lain yaitu proses *rolling*. Untuk proses *rolling* ini, UNP juga bekerjasama dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan juga dalam proses karakterisasi guna untuk melihat perbandingan antara *as-cast* dengan *as-rolled*. Oleh karena itu, UNP melakukan penelitian untuk mengetahui nilai kekerasan dan menganalisa struktur mikro yang meliputi ukuran dan jumlah butir dari paduan Zn-1Mg dan Zn-0,5Al.

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan maka peneliti mengangkat penelitian dengan judul “Analisa Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Seng (Zn) *Biodegradable* untuk Aplikasi Implan Biomedis”.

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dalam penelitian ini yaitu objek yang *as-cast* akan di *rolling* sehingga sifat bahan akan berubah, baik itu sifat fisik atau mekanis. Oleh karena itu diperlukan pengujian-pengujian sifat bahan yang berubah dari *as-cast* menjadi *as-rolled* supaya dapat dibandingkan sehingga diketahui apakah sifat-sifat bahan ini sesuai untuk aplikasi imlan biomedis atau tidak.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, maka diperlukan penelitian atau pengujian yang dalam hal ini dibatasi untuk kekerasan dan struktur mikro paduan Zn *biodegradable* dengan membandingkan paduan Zn-1Mg dan Zn-0,5Al.

D. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana kekerasan yang terdapat pada paduan Zn *biodegradable* untuk aplikasi implan biomedis ?
2. Bagaimana jumlah butir paduan Zn *biodegradable* untuk implan biomedis?
3. Bagaimana hubungan antara kekerasan dengan struktur mikro yang meliputi jumlah dan ukuran butir terhadap paduan Zn *biodegradable* untuk implan biomedis?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui kekerasan masing-masing paduan Zn *biodegradable* dengan membandingkan *as-cast* dengan *as-rolled* untuk aplikasi implan biomedis.
2. Mengetahui ukuran dan jumlah butir pada paduan Zn *biodegradable* untuk aplikasi implan biomedis.

3. Mengetahui hubungan antara kekerasan dengan struktur mikro yang meliputi ukuran dan jumlah butir terhadap paduan Zn *biodegradable* untuk implan biomedis.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk :

1. Manfaat bagi peneliti yaitu penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber acuan bagi penelitian material *biodegradable* selanjutnya dan penelitian ini bermanfaat sebagai pengembangan material *biodegradable* untuk ke depannya menjadi lebih baik .
2. Manfaat bagi mahasiswa yaitu penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai ilmu pengetahuan untuk meningkatkan serta mengembangkan wawasan.
3. Salah satu bagian untuk menghasilkan publikasi bersama antara pihak Laval *University* dengan pihak Universitas Negeri Padang (UNP).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Implan Biomedis

Implan merupakan suatu peralatan medis yang dibuat guna menggantikan fungsi dan struktur biologis. Salah satu contoh pengaplikasian pada implan yaitu pada tulang.

1. Aplikasi Implan Biomedis pada Tulang

Implan tulang digunakan sebagai alat untuk penopang bagian tubuh serta penopang tulang ketika ditemui pada kasus patah tulang. Sekrup tulang, plat dan alat lainnya digunakan secara bersamaan untuk menopang serta pengisi sambungan antara tulang yang patah sebelum jaringan tulang tersebut mengalami pertumbuhan. Penggunaan material *non biodegradable* masih banyak digunakan untuk pencegahan dan pengobatan patah tulang. Akan tetapi penggunaan material *non biodegradable* memiliki resiko yang sangat besar untuk jaringan tubuh seperti, infeksi dan kerusakan pada jaringan tubuh. Oleh karena itu, dengan adanya material *biodegradable* dapat mengatasi resiko tersebut.

Menurut (Cahaya, dkk, 2014) Ciri-ciri implan tulang yang cocok untuk tubuh harus memiliki syarat sebagai berikut:

- 1) *Biocompatible*, bahan yang digunakan harus menyatu dalam tubuh serta tidak menjadi ketidakcocokan dari tubuh terhadap material pembuatan implan.
- 2) Material yang tahan korosi, degradasi, serta material harus dapat bertahan dalam tubuh ketika proses penyembuhan, karena di dalam tubuh manusia lingkungannya sangat korosif, oleh karena itu dibutuhkan material yang tahan terhadap korosi.
- 3) Memiliki *Mechanical properties* yang sama antara tulang manusia dengan implan saat mengalami pembebanan. Fungsinya agar ketika implan bekerja dan ketika terjadi pembebanan maka implan tersebut dapat memenuhi fungsinya untuk pengganti sendi tulang yang rusak tersebut.
- 4) *Bioactive*, material pada implan diharapkan mampu menyatu dengan jaringan tubuh manusia dan dapat menyatu ketika implan telah ditanam dalam tubuh manusia.
- 5) *Osteoconductive*, material ini harus dapat menghubungkan antara tulang dengan implan atau memicu pembentukan jaringan tulang.

Terdapat 60% kandungan zat anorganik pada tulang yang terdiri dari kalsium (apatit), Mg, Kalium, Besi, Fosfor, Besi dll (Castiglioni, dkk, 2013).

Menurut (Atmodjo,dkk, 2011) fungsi tulang adalah sebagai berikut:

- 1) Melindungi jaringan lunak/ organ dalam tubuh
- 2) Sebagai organ sumber sel darah merah (hemopoietik) yang memproduksi sel darah merah (eritrosit), keping darah (trombosit) dan sel darah putih (leukosit). Fungsi hemopoietik tersebut berkurang setelah dewasa karena sumsum tulang merah diganti oleh sumsum tulang kuning.
- 3) Sebagai tempat penyimpanan mineral, ion-ion kalsium, fosfat dan karbonat.
- 4) Menyeimbangkan asam dan basa dengan cara mengabsorpsi atau mengeluarkan garam alkalin, dan kalsium fosfat.
- 5) Menawar racun dengan menyerap senyawa asing dan berbahaya dari darah dan mengeluarkannya.
- 6) Membantu kontraksi otot dengan menyediakan tempat pelekatan otot dengan adanya persendian antar tulang.

Komponen Zat Pada Tulang Manusia Yaitu :

- 1) Kalsium (Ca)

Ca ada di dalam tubuh terutama bentuk dari kalsium fosfat dalam tulang (Guyton & Hall, 2006). Menurut (Du, dkk, 2011) Ca merupakan bagian utama dalam tulang manusia serta dapat mempercepat pertumbuhan tulang.

2) Magnesium (Mg)

Mg merupakan unsur penting penting pada tubuh manusia. Mg dapat ditemukan dalam tubuh yaitu pada tulang dan gigi. Sekitar 60 persen Mg berada pada tulang dan gigi bersamaan dengan fosfor dan kalsium. Mg umumnya dianggap sebagai logam yang tidak beracun (Vojtěch, dkk, 2015). Sekitar 40% digunakan di dalam cairan tubuh yang berfungsi sebagai unsur multiguna, dimana dapat melakukan apa saja dari pengeluaran enzim guna untuk membantu otot jantung mengendur saat denyut jantung melambat. Mg beserta paduannya mempunyai sifat mekanik dan biokompatibilitas yang baik. Menurut (Zhang, dkk, 2010) Mg dan paduannya dikembangkan sebagai *biodegradable* material serta memiliki sifat biokompatibilitas. Mg dan paduannya memiliki kekuatan mekanik antara 40-45 GPa dimana kekuatan tersebut hampir sama dengan tulang paha manusia (Zhang, dkk, 2009).

3) Seng (Zn)

Salah satu unsur yang paling melimpah dalam tubuh manusia serta memiliki nutrisi penting dalam tubuh manusia dan memiliki dasar keamanan untuk aplikasi biomedis yaitu Zn. Zn juga berfungsi dalam respon daya tahan tubuh, yaitu sebagai zat proteksi terhadap adanya racun organik, logam berat, radiasi, serta adanya racun

yang masuk ke dalam tubuh yang diproduksi oleh bakteri jahat masuk ke dalam tubuh melalui sel endotoksin (Wahyu, dkk, 2008).

4) Aluminium (Al)

Al merupakan zat yang terkandung dalam tubuh manusia. Al ditemukan pada tulang manusia, disemua cairan tubuh termasuk darah, cairan tulang belakang, cairan intersitital otak, getah bening dan urin (Exley & Mold, 2015).

B. Biomaterial

Menurut Cahya, dkk (2014) biomaterial adalah material yang berhubungan langsung dengan sistem biologis pada makhluk hidup syarat dari biomaterial yaitu memiliki ketahanan korosi, memiliki kekuatan fatik dan ketangguhan serta tidak menimbulkan racun yang dapat menimbulkan pengaruh buruk dalam tubuh makhluk hidup (Bombac, dkk, 2007). Biomaterial sekarang ini diamati sebagai material aktif yang dapat mendukung proses penyembuhan jaringan yang luka (Sukaryo, dkk, 2016). Generasi awal dari biomaterial dirancang menjadi *inert* artinya tidak ada sel yang merespon dalam tubuh. Diawal perkembangan biomaterial ada kekhawatiran terbatas bagaimana biomaterial akan berinteraksi dalam tubuh manusia sejak dipertimbangkan *inert* (Sukaryo, dkk, 2016). Biomaterial ini belum memberikan hasil yang memuaskan sehingga para peneliti mengembangkan biomaterial generasi kedua untuk mencapai karakteristik *bioactive*, artinya material tersebut memicu respon diarea sekitar sel-sel

menempel. Selanjutnya, pada biomaterial generasi kedua juga terdapat kekurangan yaitu material tersebut tidak dapat meluruh dalam tubuh. Oleh karena itu dikembangkanlah biomaterial *biodegradable* yaitu material yang dapat meluruh dalam tubuh dan tanpa menyebabkan racun dalam tubuh serta mampu terserap dalam tubuh. Biomaterial bertujuan untuk meningkatkan kualitas kehidupan. Biomaterial memiliki syarat kecocokan dalam tubuh (biokompatibiliti). Biokompatibiliti mengacu pada kemampuan dari material untuk menunjukkan fungsi utama dalam jaringan hidup diikuti dengan reaksi kecocokan, minimal radang serta reaksi beracun kedua secara ditempat tersebut dan secara sistematis (Ratner, dkk, 2013).). Menurut (Sukaryo, dkk, 2016) biomaterial terdiri dari logam, polimer, keramik dan komposit. Berikut ini adalah klasifikasi dari biomaterial:

1. Logam

Logam banyak dimanfaatkan di dalam tubuh guna untuk ortopedik contohnya pada batang pinggul dan bola, lutut, dan lainnya dimana sulit jaringan atau struktur tulang harus diperbaiki atau pun diganti (Metals Handbook, 1998). Logam dimanfaatkan sebagai biomaterial karena sifat mekaniknya yang sangat baik. Menurut (Niinomi, dkk, 2012) 70% logam implan digunakan untuk ilmu pertulangan (ortopedik) seperti untuk sendi pinggul, sendi lutut, pin, sekrup, serta *cardiovascular* seperti katup jantung buatan, *stent vascular* dll.

Tabel 1. Aplikasi umum dari logam sebagai biomaterial (Sukaryo, dkk. 2016)

Material	Aplikasi
<i>Stainless steels</i>	Penggantian sendi (pinggul, lutut), plat tulang, fiksasi, dental implan, fiksasi gigi, katup jantung, stent, alat tulang belakang, sekrup, implan akar gigi, bagian bahu
Paduan Co-Cr	Pinggul total dan penggantian sambungan lutut, plat tulang, plat tulang, fiksasi, sekrup, implan akar gigi, benang bedah, bagian ortopedik, plat tulang mini, katup jantung buatan, peralatan operasi, implan gigi, stent
Ti dan paduannya	Pinggul total dan penggantian sambungan lutut, implan gigi, fiksasi gigi, sekrup, benang bedah, bagian untuk operasi ortopedik, plat tulang, katup jantung buatan dan alat pacu jantung, stent

Selanjutnya, Material *biodegradable* saat ini menarik perhatian khususnya karena memiliki sifat meluruhnya yang sangat unik. Implan tersebut dapat meluruh, terurai dalam tubuh dan disertai dengan penurunan sifat mekanik dari material implan tersebut serta pengurangan beban secara bertahap, unsur-unsur yang ada di dalamnya akan meluruh ke jaringan tulang. Menurut (Davis, 2014) Material *biodegradable* merupakan material yang mampu secara bertahap terdegradasi dalam tubuh manusia guna untuk menghasilkan zat yang tidak bersifat racun yang dapat dieksresikan di dalam tubuh.

Logam *biodegradable* ditargetkan untuk implan sementara (*temporary*) (Hermawan dan Mantovani, 2009). Material utama dari logam *biodegradable* harus menjadi elemen logam yang penting yang dapat diproses di dalam tubuh

(Zheng, dkk, 2014). Menurut David, dkk (2019) adapun logam yaitu paduan zn digunakan untuk aplikasi implan biomedis, terutama untuk kardiovaskular dan ortopedik.

2. Polimer

Polimer merupakan makromolekul yang terdiri dari banyak subunit yang berulang. Polimer diharapkan dapat membantu memperbaiki dan meregenerasi jaringan tubuh yang rusak melalui proses degradasi.

Tabel 2. Penggunaan Polimer Untuk Aplikasi Biomedis (Abdulmalik, 2012)

Material	Aplikasi
Silikon	Penyambung jari
<i>Ultrahigh molecular weight polyethylene</i>	Lutut, pinggul, sambungan bahu
<i>Polylactic and polyglycolic acid, nylon</i>	Benang jahitan
<i>Silicone, acrylic, nylon</i>	Pipa trakea
<i>Acetal, polyethylene, polyurethane</i>	Alat pacu jantung
<i>Polyester, polytetrafluoroethylene, PVC</i>	Pembuluh darah
<i>Nylon, PVC, Silicones</i>	Bagian saluran pencernaan
<i>Polydimethyl Siloxane, Polyurethane, PVC</i>	Bagian pembuatan wajah
<i>Polymethyl methacrylate</i>	Plaster tulang

3. Keramik

Keramik digunakan untuk memperbaiki dan mengganti kerusakan pada gigi dan tulang.

Tabel 3. Penggunaan keramik untuk aplikasi biomedis (Abdulmalik, 2012)

Keramik dan Kaca	Aplikasi
<i>Alumina</i>	Penggantian sendi, implan gigi
<i>Zirconia</i>	Penggantian sendi
<i>Calcium phosphate</i>	Perbaikan tulang dan tambahan, pelapisan permukaan pada logam
<i>Bioactive glasses</i>	Penggantian tulang
<i>Porcelain</i>	Perbaikan gigi
<i>Carbons</i>	Katup jantung, implan gigi

4. Komposit

Komposit didesain untuk meningkatkan *mechanical properties* atau menciptakan bahan dengan fungsi dan struktur *properties* pada waktu yang sama.

C. Proses Manufaktur Implan

Perkembangan mengenai implan tulang dalam tubuh manusia beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan yang sangat pesat. Dikarenakan terdapat kelemahan pada implan *non biodegradable* salah satu contohnya terdapat zat yang mengandung racun dan dalam kurun waktu tertentu akan dilakukan operasi kedua apabila tulang telah menyatu. Oleh karena itu, penggunaan implan *biodegradable* sangat membantu dalam proses penyembuhan tulang yaitu pada

pemakaian implan. Ada beberapa proses pembuatan implan tulang yaitu cara *casting*, *CNC* dan *powder metallurgy*.

1. *Casting* (pengecoran)

Proses pembentukan bentuk yang paling sederhana karena tidak ada pengisi yang digunakan dan tidak diperlukan tekanan merupakan *casting* atau pengecoran (JT.Black & Ronald, 2013). Proses pengecoran logam merupakan proses penuangan logam cair ke dalam cetakan yang telah dibuat terlebih dahulu polanya, sampai logam cair tersebut membeku lalu dipindahkan dari cetakan tersebut (Hendarenda, 2017). Proses pembuatan utama dalam pembuatan *biodegradable* material yang digunakan adalah proses *sand casting* (Fikri, 2017). Paduan Zn dengan proses *ac-cast* diaplikasikan untuk alat kesehatan maupun implan biomedis (Witte & Elizer, 2012).

2. *Powder Metallurgy*

Bagian metalurgi serbuk (P/M) dibentuk oleh berbagai proses. Bubuk logam dimampatkan dalam bentuk *die* untuk menghasilkan *compacts* hijau, dan kemudian *compacts disinter* (difusi terikat) pada *elevated* suhu di bawah atmosfer pelindung. Selama *sintering*, *compacts* mengkonsolidasikan dan memperkuat. Kepadatan *compact* yang disinter dapat ditingkatkan dengan menekan kembali P/M *compact*. Menekan ulang dapat diikuti dengan *resintering*, yang mengurangi tekanan yang disebabkan oleh kerja dingin dan selanjutnya dapat mengkonsolidasikan struktur. Hanya dengan menekan dan

sintering, bagian memiliki kepadatan lebih dari 80% kerapatan teoritis dapat dihasilkan. Dengan menekan ulang, dengan atau tanpa resintering, bagian kepadatan teoritis 90% atau lebih dapat diproduksi.

D. Penelitian yang Relevan

Menurut (Pospíšilová, & Vojtěch, 2014), paduan Zn akan semakin meningkat dengan penambahan Mg. Pengujian kekerasan digunakan *Vickers hardness* dengan beban 5 kg. Nilai kekerasan yang didapatkan pada pengujian ini yaitu pada Zn murni 37 HV, Zn-0,9Mg diperoleh 80 HV dan Mg dengan kandungan yang paling banyak yaitu pada Zn-8,3Mg dengan nilai 226 HV.

Menurut Mostaed,dkk, (2016) paduan Zn dari konsentrasi elemen yang berbeda dari Mg dan Al diteliti sebagai kandidat yang memungkinkan untuk aplikasi *stent biodegradable (ring* yang dapat meluruh dalam tubuh tanpa menyebabkan racun). Meningkatnya konten Mg dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tekan dari paduan Zn-Mg namun, akan mengurangi keuletan. Al hanya memiliki sedikit efek mekanikal propertis dari Mg karena memiliki kelarutan yang lebih tinggi dalam Zn. Zn-0,5Mg merupakan kombinasi yang baik dari kekuatan dan keuletan serta berpotensi untuk aplikasi *stent*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Dari hasil uji dan analisa struktur mikro dan uji kekerasan, penambahan 1% Mg pada paduan Zn menghasilkan penambahan nilai kekerasan paduan serta meningkatnya ukuran dan jumlah butir yang menjadikan paduan Zn-1Mg lebih keras. Namun, penambahan 0,5%Al pada paduan Zn ternyata nilai kekerasannya lebih rendah jika dibandingkan dengan penambahan paduan 1% Mg.
2. Proses *rolling* mengakibatkan material menjadi lebih keras karena setelah proses tersebut ukuran butir akan menjadi lebih rapat dan mengecil (memadat). Hal ini dapat dilihat pada paduan Zn-1Mg, sedangkan pada Zn-0,5Al hasil *as-cast* lebih keras dari pada *as-rolled* . Paduan Zn biodegradable ini memiliki potensi untuk aplikasi implan biomedis
3. Adanya hubungan antara kekerasan dengan jumlah butir dari struktur mikro, semakin banyak jumlah butir dan semakin kecil atau rapat jumlah butir, maka kekerasan juga semakin meningkat begitu pula sebaliknya.

B. Saran

Diharapkan pada penelitian ini dipelajari lebih lanjut agar mendapatkan karakteristik material lainnya seperti uji tarik, puntir, bending dan lainnya sehingga mendapatkan karakteristik sepenuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulmalik, S. S. (2012). *Effect Of Zinc Addition On The Properties Of Magnesium Alloys* (Doctoral dissertation, University Technology Malaysia).
- ASTM (2016a) ASTM F3160-16: standar guide for metallurgical characterization of absorbable metallic materials for medical implants. ASTM International, West Conshohocken.
- Atmodjo, Wahyuni Lukita, Arvan Pratama. 2011. Struktur Dasar Anatomi Manusia “Perpaduan Fakta dan Seni Menampilkan Anatomi Tubuh Manusia Menjadi Lebih Sempurna. Jakarta: CV. Sagung Seto.
- Bombac, D., B, Miha., Fajfar, P., Kosel, F., dan Turk, R. 2007, “Review of Materials in Medical Applications”. *RMZMaterialsand Geoenvironment.*, 54, 471-499
- Brar, H. S., Platt, M. O., Sarntinoranont, M., Martin, P. I., & Manule, M. V. (2009). Magnesium as a *Biodegradable* and Bioabsorbable Material for Medical Implants. *JOM*, 61(9), 31–34. <https://doi.org/10.1007/s11837-009-0129-0>
- Cahaya, S., Muhammad, I., & Ika, K. (2014). Karakteristik Material Biokompetibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate. *Prosiding Semnastek*, 1(1).
- Castiglioni, S., Cazzaniga, A., Albisetti, W., & Maier, J. A. M. (2013). Magnesium and osteoporosis: Current state of knowledge and future research directions. *Nutrients*, 5(8), 3022–3033. <https://doi.org/10.3390/nu5083022>
- Du, H., Wei, Z., Liu, X., & Zhang, E. (2011). Effects of Zn on the microstructure, mechanical property and bio-corrosion property of Mg-3Ca alloys for biomedical application. *Materials Chemistry and Physics*, 125(3), 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.10.015>
- Exley, C., & Mold, M. J. (2015). The binding, transport and fate of aluminium in biological cells. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 30, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.11.002>
- Federico Ángel Rodríguez-González. 2009. Biomaterials in orthopaedic surgery. ASM International: USA
- Fikri, Nugraha A. (2017). *Pengaruh Komposisi Zn Casting Morfologi Dan Sifat*

Mekanik Paduan Mg – Zn Untuk Aplikasi Biodegradable Orthopedic Devices. institut teknologi sepuluh nopember.

Garvey, T., & Castro, F. (1985). *of Medical. Sciences-New York.* <https://doi.org/10.1185/03007995.2011.568059>

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). Textbook of medical physiology 11th ed. *Elsiever Saunders*, 788-817.

Hermawan, Hendra. (2012). *Biodegradable Metals: State of the Art*

Hermawan, H., Dubé, D., & Mantovani, D. (2010). Developments in metallic *biodegradable stents. Acta biomaterialia*, 6(5), 1693-1697.

Hendarenda. (2017). *Casting* (Pengecoran). Retrieved February 8, 2019, from <https://materialengineeringranggaagung.wordpress.com/2017/07/06/casting-pengecoran/>

Hidayat. 2017. “Pemanfaatan Mg-Zn untuk Aplikasi Pembuatan Implan Tulang (*Orthopedic Devices*) dengan Metode Mettallurgy Serbuk.” *Jurnal tidak diterbitkan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Indra, B. K. (2017). *Pengaruh Penambahan Zn dan Tekanan Kompaksi Terhadap Struktur Mikro, Sifat Mekanik, dan Laju Peluruhan Paduan Mg-Zn Untuk Aplikasi Orthopedic Devices dengan Metode Metallurgy Serbuk.* Institut Teknologi Sepuluh November.

ISO, E. (2006). 6507-1: 2005-Metallic materials-Vickers hardness test. *European Committee for Standardization*.

Katarivas Levy, G., Goldman, J., & Aghion, E. (2017). The Prospects of Zinc as a Structural Material for *Biodegradable* Implants—A Review Paper. *Metals*, 7(10), 402. <https://doi.org/10.3390/met7100402>

Koc, Erkan, M. Bobby Kannan, Mehmet Unal dan Ercan Candan. 2015. Influence of Zinc On the Microstructure, Mechanical Properties and in Vitro Corrosion Behavior of Magnesium–Zinc Binary Alloys. *Journal of Alloys and Compounds* : 291 - 296.

Levy, K, G., Goldman, J., & Aghion, E. (2017). The Prospects of Zinc as a Structural Material for *Biodegradable* Implants—A Review Paper. *Metals*, 7(10), 402. <https://doi.org/10.3390/met7100402>

Li, H., Peng, Q., Li, X., Li, K., Han, Z., & Fang, D. (2014). Microstructures, mechanical and cytocompatibility of degradable Mg-Zn based orthopedic biomaterials. *Materials and Design*, 58, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.031>

Metals Handbook. (1998). ASM International (Second).

Mostaed, E., Sikora-Jasinska, M., Mostaed, A., Loffredo, S., Demir, A. G., Previtali, B., ... & Vedani, M. (2016). Novel Zn-based alloys for *biodegradable* stent applications: design, development and in vitro degradation. *journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 60, 581-602.

Niinomi, M., Nakai, M., & Hieda, J. (2012). Development of new metallic alloys for biomedical applications. *Acta biomaterialia*, 8(11), 3888-3903.

Pospíšilová, I., & Vojtěch, D. (2014). Zinc alloys for biodegradable medical implants. In *Materials Science Forum* (Vol. 782, pp. 457-460). Trans Tech Publications.

Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (2013). Introduction-Biomaterials Science: An Evolving, Multidisciplinary Endeavor Biomaterials Science.

Saito, E. (2011). Designed *Biodegradable* and Osteoconductive Porous Scaffolds for Human Trabecular Bone. *ProQuest Dissertations and Theses*, 173. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/919707791?accountid=43793>

Sukaryo, S. G., Purnama, A., & Hermawan, H. (2016). Structure and Properties of Biomaterials. In *Biomaterials and Medical Devices* (pp. 1-22). Springer, Cham.

Vojtěch, D., Kubásek, J., Šerák, J., & Novák, P. (2011). Mechanical and corrosion properties of newly developed *biodegradable* Zn-based alloys for bone fixation. *Acta Biomaterialia*, 7(9), 3515-3522.

Vojtěch, D., Kubásek, J., Čapek, J., & Pospíšilová, I. (2015). Comparative mechanical and corrosion studies on magnesium, zinc and iron alloys as *biodegradable* metals. *Materiali in Tehnologije*, 49(6), 877–882. <https://doi.org/10.17222/mit.2014.129>

- Wahyu, W., Astiana, S., Rymond J, R. (2008). Efek Toksik Logam. Yogyakarta: Andi
- Waugh, D., & Lawrence, J. (2013). Laser surface processing of polymers for biomedical applications. In *Laser-Assisted Fabrication of Materials* (pp. 275-318). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Witte, F., & Eliezer, A. (2012). Biodegradable metals Degradation of Implant Materials ed N Eliaz.
- Zheng, Y., Li, Y., Chen, J., & Zou, Z. (2014). Surface characteristics and corrosion resistance of *biodegradable* magnesium alloy ZK60 modified by Fe ion implantation and deposition. *Progress in Natural Science: Materials International*, 24(5), 547-553.
- Zhang, E., Yin, D., Xu, L., Yang, L., & Yang, K. (2009). Microstructure, mechanical and corrosion properties and biocompatibility of Mg-Zn-Mn alloys for biomedical application. *Materials Science and Engineering C*, 29(3), 987–993. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.08.024>
- Zhang, S., Zhang, X., Zhao, C., Li, J., Song, Y., Xie, C., ... & Bian, Y. (2010). Research on an Mg–Zn alloy as a degradable biomaterial. *Acta biomaterialia*, 6(2), 626-640.