

**PENGARUH PERENDAMAN PENUH (*TOTAL IMMERSION*)
MAGNESIUM AZ31B DALAM LARUTAN *RINGER LAKTAT* TERHADAP
PERILAKU KOROSI DAN KEKUATAN TARIK**

(Skripsi)

Oleh

MAHERARIYAT

NPM 2015021038



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PENGARUH PERENDAMAN PENUH (*TOTAL IMMERSION*) MAGNESIUM AZ31B DALAM LARUTAN *RINGER LAKTAT* TERHADAP PERILAKU KOROSI DAN KEKUATAN TARIK

**Oleh
Maherariyat**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh perendaman paduan magnesium AZ31B dalam larutan Ringer laktat, yang menyimulasikan cairan tubuh, terhadap perilaku korosi dan kekuatan tariknya. Pengujian laju korosi dilakukan setelah perendaman selama 8 jam, 16 jam, dan 24 jam. Uji tarik statis dilakukan pada spesimen yang dipotong searah dan berlawanan arah sebelum dan setelah pengkorosan selama 24 jam. Morfologi permukaan patahan diperiksa menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Hasil menunjukkan bahwa sifat tarik seperti kekuatan tarik maksimum, kekuatan mulur, modulus Young, dan perpanjangan raw material AZ31B bervariasi tergantung arah pemotongan. Setelah pengkorosan 24 jam, sifat tariknya sedikit berbeda tapi perubahannya tidak signifikan. Laju korosi setelah perendaman 8 jam adalah 0,05655 mmpy, 16 jam 0,03799 mmpy, dan 24 jam 0,02305 mmpy. Hasil korosi yang diamati berupa korosi pitting, korosi intergranular, korosi tegangan, dan korosi celah. Secara keseluruhan, AZ31B memiliki ketahanan korosi yang baik dengan laju korosi 0,02-0,1 mmpy.

Kata kunci : *Mg AZ31B, korosi, perbedaan arah pemotongan, perlakuan permukaan, tarik statis.*

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF TOTAL IMMERSION OF MAGNESIUM AZ31B IN RINGER LACTATE SOLUTION ON CORROSION BEHAVIOR AND TENSILE STRENGTH

By

Maherariyat

This study investigates the effects of immersing magnesium alloy AZ31B in Ringer's lactate solution, which simulates body fluid, on its corrosion behavior and tensile strength. Corrosion rate tests were conducted for 8, 16, and 24 hours, and static tensile tests were performed on samples before and after 24 hours of corrosion, with specimens cut in different directions. Scanning electron microscopy (SEM) was used to examine the fracture surface morphology. The study found that the tensile strength, yield strength, Young's modulus, and elongation values for the raw AZ31B material varied depending on the cutting direction. After 24 hours of corrosion, the tensile properties of the material were slightly different, but the changes were not significant. The corrosion rates for 8, 16, and 24 hours of immersion were 0.05655 mmpy, 0.03799 mmpy, and 0.02305 mmpy, respectively. The corrosion results showed pitting corrosion, intergranular corrosion, stress corrosion cracking, and crevice corrosion. Overall, AZ31B material exhibited good corrosion resistance, with corrosion rates ranging from 0.02 to 0.1 mmpy.

Keywords: Mg AZ31B, corrosion, different cutting directions, surface treatment, static tensile.

**PENGARUH PERENDAMAN PENUH (*TOTAL IMMERSION*)
MAGNESIUM AZ31B DALAM LARUTAN *RINGER LAKTAT* TERHADAP
PERILAKU KOROSI DAN KEKUATAN TARIK**

Oleh

MAHERARIYAT

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**

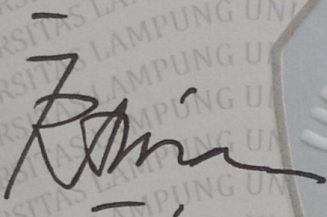


**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

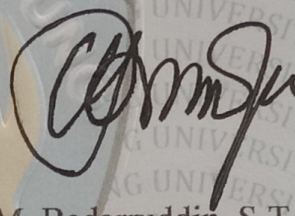
Judul skripsi : PENGARUH PERENDAMAN PENUH
(TOTAL IMMERSION) MAGNESIUM AZ31B
DALAM LARUTAN RINGER LAKTAT
TERHADAP PERILAKU KOROSI DAN
KEKUATAN TARIK

Nama mahasiswa : Maherariyat
Nomor pokok mahasiswa : 2015021038
Program studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing



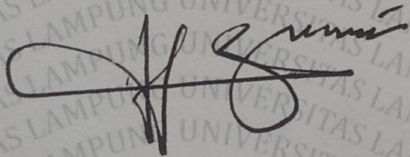
Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU.
NIP. 19700812 200112 1 001



Prof. M. Badarruddin, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19721211 199803 1 002

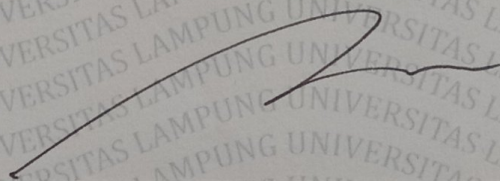
MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin



Gusri Akhyar, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197108171998021003

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



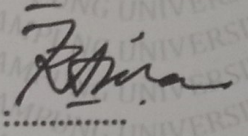
Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197908212003121003

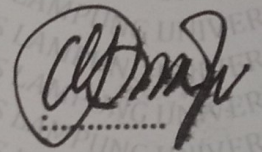
MENGESAHKAN

1. Tim penguji

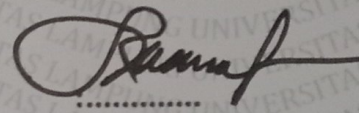
Ketua penguji : Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU.



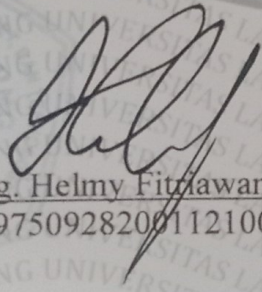
Sekretaris : Prof. M. Badarruddin, S.T., M.T., Ph.D



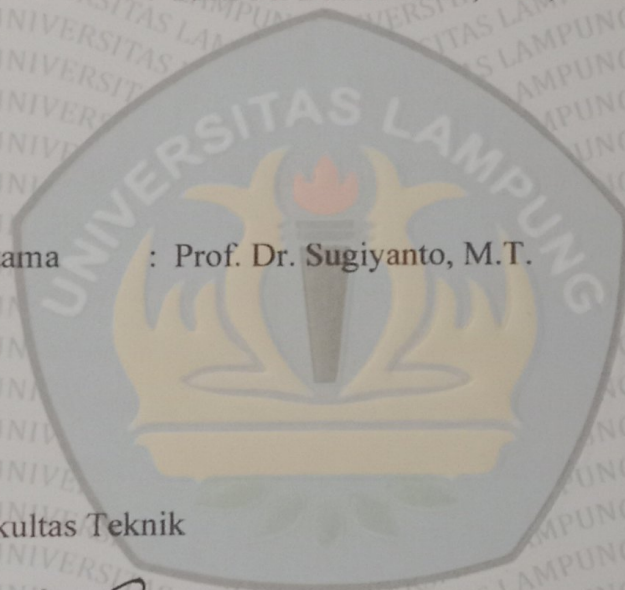
Penguji utama : Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Eng. Helmy Fitrawan, S.T., M.Sc
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 07 Juni 2024



PERNYATAAN PENULIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maherariyat
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021038
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Skripsi dengan judul “PENGARUH PERENDAMAN PENUH (*TOTAL IMMERSION*) MAGNESIUM AZ31B DALAM LARUTAN *RINGER LAKTAT* TERHADAP PERILAKU KOROSI DAN KEKUATAN TARIK“ dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana diatur didalam Pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 7 Juni 2024

Yang membuat pernyataan



Maherariyat

NPM. 2015021038

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Maherariyat dilahirkan di Gisting pada tanggal 31 Maret 2002. Penulis merupakan anak keempat dari pasangan Bapak Sukirman dan Ibu Surtiwi. Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 03 Campang (2008-2014), MTS MA Landsbaw (2014-2017), SMA N 1 Sumberejo (2017-2020). Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Material Teknik pada tahun 2023-2024. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Semen Padang, Padang, Sumatra Barat. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Juli 2023 di Desa Reno Basuki, Kecamatan Rumbia, Kabupaten Lampung Tengah. Penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu mengikuti organisasi FORKOM KIP KULIAH Universitas Lampung sebagai anggota divisi advokasi tahun 2020-2022. Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Ketua Bidang Edukasi Dan Kemahasiswaan pada 2022-2023 serta mengikuti organisasi KMNU Universitas Lampung sebagai anggota departemen sosial masyarakat bidang organisasi dan kaderisasi pada tahun 2022-2023. Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul “Pengaruh Perendaman Penuh (*Total Immersion*) Magnesium Az31b Dalam Larutan *Ringer Laktat* Terhadap Perilaku Korosi Dan Kekuatan Tarik” di bawah bimbingan Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU dan Prof. M. Badarruddin, S.T., M.T., Ph.D. serta sebagai pembahas Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الْحَمْدُ لِلَّهِ

Alhamdulillah hirobbil alamin

SEGALA PUJI BAGI ^{الله}, TUHAN SEMESTA ALAM

Karya Tulis Ini Ku Persembahkan Untuk

Ibu Tercinta Surtiwi

Bapak Tercinta Sukirman

Kakak Tercinta Nasehan, Marhamah, Dan Nasrudin

Nenek Tercinta Tugini

Intan Mahavera Nurheis

Teman Teman Seangkatan 2020

Dan

Almamamter Tercinta

Teknik Mesin Universitas Lampung

2020-2024

MOTTO HIDUP

*“Jangan Pernah Menyerah , Ambil Semua Peluang Yang Ada Sampai Kamu
Benar Benar Merasa Puas Dengan Kehidupanmu Saat Ini”*

(Maherariyat)

“Sesungguhnya Bersama Kesulitan Itu Ada Kemudahan “

(Q.S Al Insyirah 5)

“ Selalulah Berfikir Positif, Tidak Peduli Seberapa Keras Kehidupanmu “

(Ali Bin Abi Thalib)

*“Belajarlh Dimanapun Dan Sampai Kapanpun Namun Jangan Lupakan Siapa
Penciptamu”*

(Prof Sugiyanto)

SANWACANA

Assalamualaikum wr.wb

Alhamdulillahirobbil' alamiin, segala puji bagi ALLAH SWT tuhan semesta alam, atas segala rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir Skripsi dengan judul “PENGARUH PERENDAMAN PENUH (*TOTAL IMMERSION*) MAGNESIUM AZ31B DALAM LARUTAN *RINGER LAKTAT* TERHADAP PERILAKU KOROSI DAN KEKUATAN TARIK” Penulis menyadari bahwa ada kekurangan dalam pengetahuan, pengalaman, dan kemampuan yang dimiliki. Meskipun demikian, Penulis berharap bahwa tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak dan berkontribusi dalam pemikiran akademis serta bidang lainnya. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih atas kritik, saran, bimbingan, dan petunjuk yang diterima dari semua pihak, yang sangat diharapkan dapat membantu dalam kelengkapan dan penyempurnaan Skripsi ini. Penulis mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan yang tinggi:

1. Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaannya dalam membimbing serta memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Prof. M. Badarruddin, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk berbagi ilmu, membimbing, memberi kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya.
3. Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.. selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., MT selaku dosen Pembimbing Akademik telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan.

5. Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc. selaku Ketua Program Studi Sarjana S1 Teknik Mesin Universitas Lampung telah memberikan arahan mengenai perkuliahan.
6. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan kenyamanan selama perkuliahan.
7. Kedua orang tersayang Bapak dan Ibu (Sukirman & Surtiwi) yang selalu memberikan nasehat, motivasi serta selalu mendukung penulis dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
8. Kakak tersayang yang selalu mensupport penulis selama masa perkuliahan.
9. Intan Mahavera Nurheis yang selalu mendampingi penulis sampai akhir pengerjaan skripsi.
10. Para staf admin Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang selalu sedia dan sigap membantu penyelesain segala berkas yang diperlukan penulis.
11. Lakh Lhey Crew yang selalu menghibur dan membantu penulis dalam penyelesain Tugas Akhir serta memberikan motivasinya.
12. Anggota kos Pavillion (Ragil Alvin, bang Yoga , bang bavo, bang arfi, dodi, Raimondo, rizki dan teman teman yang tidak dapat disebutkan) yang selalu menghibur penulis disaat sedang jenuh.
13. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2020.

Akhir kata, Penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan skripsi ini dari awal sampai akhir.

Bandar Lampung, 7 Juni 2024

Maherariyat

NPM 2015021038

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
 I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
 II. TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Magnesium	5
2.2 Magnesium AZ31B	6
2.3 Korosi	8
2.4 Laju korosi.....	9
2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi	11
2.5.1 Komponen ion larutan dan konsentrasinya.....	11
2.5.2. pH.....	11
2.5.3. Kadar Oksigen	12
2.5.4.Temperatur.....	12
2.5.5. Kecepatan (pergerakan fluida).....	12
2.6 Pengujian simulasi kondisi cairan	13
2.7 Kekuatan Tarik.....	13
2.8 Arah Rolling	16
 III METODOLOGI PENELITIAN	 20
3.1 Waktu dan tempat penelitian	20
3.2 Alat dan bahan penelitian	21
3.3 Pelaksanaan Penelitian	25
3.4 Pelaksanaan pengujian	27
3.5 Diagram alir.....	34

IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Data hasil penelitian	35
4.1.1 Spesimen uji tarik	35
4.1.2 Uji laju korosi	36
4.1.3 Observasi fraktografi	37
4.2 Pembahasan	37
4.2.1 Pengujian tarik	37
4.2.2. Hasil Laju Korosi.....	49
4.2.3 Oservasi Fraktografi	54
4.2.4. <i>Scanning Electron Microscopy Energy Dispersion Spectroscopy</i>	59
V. SIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Simpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Magnesium Murni (Mg) (Friedrich & Mordike, 2006)	6
Tabel 2. Komposisi Kimia Mg AZ31B (Matweb)	7
Tabel 3. Sifat Mekanik Mg AZ31B (Matweb).....	8
Tabel 4. Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi	9
Tabel 5. Nilai Ketepatan Laju Korosi (K).....	10
Tabel 6. Rencana Jadwal Penelitian.....	20
Tabel 7. Spesifikasi Mg AZ31B.....	21
Tabel 8. Spesifikasi kandungan ringer laktat Setiap 500ml.....	22
Tabel 9. Spesifikasi timbangan digital.	23
Tabel 10. Spesifikasi jangka sorong	24
Tabel 11. Spesifikasi Hydraulic servopulser mesin landmark MTS 100 kN	24
Tabel 12. Spesifikasi Ultrasonic Cleaner	25
Tabel 13. Parameter pembuatan spesimen uji tarik	26
Tabel 14. Perhitungan Laju Korosi	32
Tabel 15 . Sifat Mekanik Hasil Pengujian Tarik Raw Searah Pemotongan (X) ..	40
Tabel 16. Sifat Mekanik Hasil Pengujian Tarik Raw Berlawanan Arah Pemotongan	43
Tabel 17.. Parameter pengujian tarik korosi	43
Tabel 18 . Sifat Mekanik Hasil Pengujian Tarik Cr X.....	46
Tabel 19. Sifat Mekanik Hasil Pengujian Tarik korosi X.....	48
Tabel 20. Hasil pengujian laju korosi	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Solubility of oxygen in water at different temperatures.....	12
Gambar 2. Simulasi metode uji rendam statik	13
Gambar 3. Skema Uji Tarik (ASM, 2002).	14
Gambar 4. Kurva Tegangan - Regangan Mg AZ31B	14
Gambar 5. Kurva Tegangan - Regangan Mg AZ31B	15
Gambar 6. Arah pengerolan butir (a) 0° kearah bergulir,	17
Gambar 7. Hasil uji tarik.....	18
Gambar 8. Material magnesium AZ31B	21
Gambar 9. <i>Ringer laktat</i>	22
Gambar 10. Timbangan digital	23
Gambar 11. Jangka sorong.....	23
Gambar 12. <i>Hydraulic servopulser mesin landmark MTS 100 kN</i>	24
Gambar 13. <i>Ultrasonic Cleaner</i>	25
Gambar 14. (a) spesimen searah pemotongan (arah X), dan	26
Gambar 15.(a) posisi pengujian, (b) Chamber pengujian	26
Gambar 16. Hasil fabrikasi spesimen uji tarik	27
Gambar 17. Spesimen uji korosi	28
Gambar 18. Penuangan larutan BF kedalam gelas ukur 100ml	30
Gambar 19. Perendaman spesimen	31
Gambar 20. Scanning Electron Microscope.....	33
Gambar 21. (a) Spesimen raw uji tarik dan.....	35
Gambar 22. Spesimen uji laju korosi (a) 8 jam,.....	36
Gambar 23. Grafik hasil uji tarik Raw X1	38
Gambar 24. Grafik hasil uji tarik Raw X2	38
Gambar 25. Grafik hasil uji tarik Raw X3	39
Gambar 26. Grafik gabungan hasil uji tarik Raw X.....	39
Gambar 27. Grafik hasil uji tarik Raw Y1	41
Gambar 28. Grafik hasil uji tarik Raw Y2	41

Gambar 29. Grafik hasil uji tarik Raw Y3	42
Gambar 30. Grafik gabungan hasil uji tarik Raw Y.....	42
Gambar 31. Grafik hasil uji tarik korosi X1	44
Gambar 32. Grafik hasil uji tarik korosi X2	44
Gambar 33. Grafik hasil uji tarik korosi X3	45
Gambar 34. Grafik hasil uji tarik korosi X	45
Gambar 35. Grafik hasil uji tarik korosi Y1	47
Gambar 36. Grafik hasil uji tarik korosi Y2	47
Gambar 37. Gabungan grafik uji tarik raw dan uji tarik korosi	48
Gambar 38. Grafik hasil pengujian laju korosi 8 jam	50
Gambar 39. Grafik hasil pengujian laju korosi 16 jam	51
Gambar 40. Grafik hasil pengujian laju korosi 24 jam	52
Gambar 41. Mikrograf SEM permukaan patahan uji tarik korosi AZ31B (a) mg AZ31B (arah X) pembesaran 50 X, (b) pembesaran 200 X, dan (c) mg AZ31B (arah Y) pembesaran 50X, (d) pembesaran 200X.....	55
Gambar 42. Mikrograf SEM permukaan uji tarik korosi AZ31B (a) mg AZ31B (Y) pembesaran 1.000 X, 5.000 X dan 10.000 X, (b) mg AZ31B (X) pembesaran 1.000X, 5.000 X, dan 10.000 X	57
Gambar 43. Mikrograf SEM permukaan uji korosi pembesaran 50 X, (1) Pembesaran 200 X, (2) Pembesaran 200 X, dan (3) Pembesaran 200 X.....	59
Gambar 44. SEM-EDS Spesimen Tarik Korosi Searah Pemotongan.....	60
Gambar 45. SEM-EDS Spesimen Tarik Korosi Berlawanan Arah Pemotongan..	61
Gambar 46. SEM-EDS <i>Surface Corrosion</i> AZ31B	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, ilmu pengembangan material mencapai tahap yang sangat maju, tidak hanya dalam industri otomotif dan perkakas, tetapi juga dalam desain secara umum. Seiring dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat, penggunaan material tidak terbatas hanya pada proses manufaktur, melainkan telah meluas hingga ke aplikasi di bidang kesehatan. Pemanfaatan material dalam industri medis mencakup penggunaan implantasi dalam bidang spesifik seperti alat bantu untuk menyatukan tulang yang patah, seperti sekrup tulang, plat tulang, paku tulang, dan prostesis pinggul total, masing-masing sesuai dengan fungsinya dan kebutuhannya.

Biomaterial adalah jenis material yang diperuntukan langsung berinteraksi dengan sistem biologis pada organisme hidup. Penggunaan biomaterial bertujuan untuk menggantikan atau memulihkan fungsi organ yang mengalami kegagalan atau kerusakan. Oleh karena itu, biomaterial harus memenuhi beberapa kriteria penting, terutama material harus bersifat biokompatibel, yaitu mampu berintegrasi dengan tubuh tanpa menimbulkan reaksi penolakan (Sukmana, 2020). Selain itu, biomaterial juga harus memiliki ketahanan terhadap korosi agar dapat bertahan lama dalam tubuh selama proses penyembuhan. Hal ini penting karena lingkungan dalam tubuh manusia cenderung bersifat korosif. Selain itu, biomaterial juga harus memiliki sifat mekanik yang sejajar dengan tulang manusia untuk memastikan bahwa saat bekerja dan mengalami beban, biomaterial mampu memenuhi fungsinya sebagai pengganti tulang yang rusak dan sendi (Staiger et al., 2006).

Ketahanan terhadap korosi yang tinggi merupakan salah satu persyaratan kunci untuk biomaterial. Korosi adalah bentuk degradasi material akibat reaksi kimia

dengan lingkungan sekitarnya. Perbaikan kinerja material terkait sifat-sifatnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan memvariasikan komposisi melalui peningkatan konsentrasi atau penambahan elemen pepadu. Oleh karena itu, dalam konteks medis atau kesehatan, diperlukan material atau teknologi rekayasa yang mampu mengatasi masalah dan membantu proses penyembuhan tanpa menimbulkan efek samping bagi pasien. Pemilihan material yang optimal harus mempertimbangkan sifat mekanik dan fisik yang baik, terutama dalam konteks rekayasa jaringan dalam tubuh manusia. Magnesium dipilih karena memiliki sifat mekanik yang mirip dengan tulang dan dapat terdegradasi, di mana hasil degradasinya dapat diabsorpsi oleh tubuh tanpa menimbulkan efek berbahaya (non-toksik) terhadap metabolisme tubuh, serta bersifat biokompatibel (Sukmana et al., 2016).

Namun, dalam pengaplikasiannya, tingkat korosif dari magnesium masih menjadi salah satu tantangan sains dan teknologi karena komposisi cairan dalam tubuh manusia bersifat sangat bervariasi. Penelitian ini menggunakan simulasi cairan tubuh (*Ringer laktat*) untuk menilai laju korosi magnesium saat digunakan sebagai implan tulang. Salah satu metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode kegagalan implan akibat retakan kelelahan dan korosi. Karena secara alami, implan akan mengalami gerakan seiring dengan aktivitas tubuh, sehingga terjadi penumpukan tegangan pada struktur yang lebih lemah. Inilah titik awal peningkatan laju retakan kelelahan dan laju korosi. Meskipun produk degradasi magnesium sebagai implan dapat diresorpsi dalam tubuh, jika terjadi dengan cepat dalam waktu singkat, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada bentuk dan fungsi implan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui laju korosi pada magnesium yang bertindak sebagai implan tulang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi pengujian pada spesimen magnesium AZ31B terhadap laju korosi yang terjadi dengan menggunakan pengukuran hilangnya berat dengan teknik perendaman penuh. Untuk selanjutnya akan dilaksanakan pengujian tarik guna mengetahui pengaruh dari korosi terhadap kekuatan tarik.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilaksanakan adalah :

1. Menganalisis laju korosi Mg AZ31B menggunakan larutan *ringer laktat* dengan waktu perendaman 8 jam, 16 jam, dan 24 jam.
2. Menganalisis korosi yang terjadi pada Mg AZ31B.
3. Menganalisis pengujian pengaruh arah pemotongan terhadap sifat tarik AZ31B.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Spesimen yang digunakan Mg AZ31B.
2. Fluida yang digunakan untuk pengujian laju korosi menggunakan *ringer laktat*.
3. Metode yang digunakan dalam pengujian laju korosi adalah metode *weight loss*.
4. Kandungan oksigen, pH dan suhu cairan tidak ditinjau.
5. Laju korosi yang diujikan untuk sampel uji tarik hanya pada waktu singkat (*short-time*)

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari laporan penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang tulang manusia, magnesium AZ31B, *simulation body fluid* (SBF), korosi, arah pengerolan, jenis pengujian, dan sifat mekanik spesimen.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, dan diagram alir serta uraian tahap-tahap dalam penelitian seperti studi literatur, persiapan penelitian, uji tarik, uji laju korosi, SEM-EDS, analisa dan pembahasan serta simpulan.

BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Memuat data-data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik dan pengujian laju korosi dengan semua metode yang digunakan.

BAB V. PENUTUP

Memuat kesimpulan dan saran penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Magnesium

Pada tahun 1808, magnesium (Mg) pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey. Di masa lampau, logam ini digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi khusus di industri nuklir, logam, dan pesawat militer (Mordike & Ebert, 2001). Secara umum, magnesium memiliki karakteristik berikut: memiliki densitas yang rendah dibandingkan dengan logam lainnya, memiliki tingkat kekerasan yang tinggi, tahan terhadap korosi, memiliki konduktivitas listrik dan termal yang lebih baik, serta memiliki kekuatan tarik yang sedang (Friedrich & Mordike, 2006). Magnesium termasuk golongan logam dasar yang ringan karena massa jenis atau densitas berkisar antara $1,74 - 1,83 \text{ g/cm}^3$.

Untuk meningkatkan karakteristik fisik, mekanik, komposisi, dan bentuk magnesium, dapat dicampur dengan unsur lain sebagai paduan, seperti logam aluminium. Kekuatan tarik dan kekerasan magnesium dapat ditingkatkan dengan mencampurkan dengan berbagai unsur seperti aluminium, seng, mangan, dan bahan lainnya. Contoh dari paduan magnesium ini adalah Magnesium AZ31B, yang terdiri dari magnesium, aluminium, dan seng. Ketersediaan magnesium dalam kerak bumi cukup melimpah, sekitar 2-3%, dengan magnesium murni memiliki persentase sekitar 99,9%. Titik leleh magnesium cenderung rendah dibandingkan dengan banyak logam lainnya, terutama logam alkali tanah, berkisar antara 650°C atau setara dengan 923 K . (Jayasathyakawin et al., 2020). Klasifikasi Mg murni alkali tanah seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Magnesium Murni (Mg) (*Friedrich & Mordike, 2006*)

Nama unsur	Lambang	Nomor atom	Massa atom	Golongan	Periode
Magnesium	Mg	12	24,3050(6)	2	3

2.2 Magnesium AZ31B

Magnesium AZ31B (Mg AZ31B) adalah jenis paduan magnesium dengan kandungan aluminium, seng, dan besi yang paling rendah. Penggunaan magnesium ini sedang intensif dikaji oleh peneliti material modern atau maju karena potensinya sebagai bahan masa depan dalam aplikasi kedokteran atau *medicals and clinical sciences* khususnya tulang manusia (*orthopedic*) (MERT, 2017). Mg AZ31B menarik perhatian yang besar dalam bidang biomedis karena sifat mekaniknya yang luar biasa, seperti kemampuan biodegradasi dan biokompatibilitas. Kepadatan dan modulus elastisitasnya sejalan dengan tulang manusia alami, menjadikannya pilihan pengganti tulang yang optimal. Berbeda dengan biomaterial logam lainnya, Mg AZ31B dapat diserap oleh jaringan tanpa memerlukan pembedahan kedua setelah penyembuhan. Dalam konteks ini, implan yang dapat terurai secara hayati larut dalam lingkungan fisiologis setelah memenuhi fungsinya, terutama penting dalam bidang kardiovaskular. (Zhang et al., 2018).

Modulus elastisitas (Young's modulus) magnesium berkisar antara 40 hingga 50 GPa, menyerupai kekakuan tulang manusia yang berkisar antara 10 hingga 40 GPa. Sejak tahun 1878, magnesium dan paduannya telah diteliti secara intensif untuk penggunaan sebagai biomaterial modern. Meskipun magnesium memiliki kekuatan tarik yang tidak sekuat baja dan kekakuannya relatif rendah, namun memiliki sifat dan kemampuan yang membuatnya cocok sebagai bahan implan tulang manusia. Selain aman, penggunaan magnesium dapat mengurangi biaya karena harganya jauh lebih rendah dibandingkan dengan material implan lainnya. (Staiger et al., 2006). Logam Mg memiliki keunggulan unik yang tidak dipunyai oleh logam lain nya, termasuk sifat *biodegradable*,

non – toxic dan *mechanical properties* layaknya tulang manusia pada umumnya . Sifat *Biodegradable* ini telah membuat magnesium menjadi pilihan utama dalam berbagai bidang seperti *materials, mechanical, science*, dan *tissueengineering*, terutama sebagai kandidat terbaik untuk bahan implan tulang (Witte et al., 2005).

Material implan yang ideal, seperti yang berbasis Mg, diinginkan untuk memiliki sifat penghalang korosi dengan tingkat korosi awal yang rendah di lingkungan tubuh. Hal ini memungkinkan implan untuk berfungsi sebagai penyangga sementara hingga pembentukan jaringan baru terjadi, dan setelah itu, bagian yang tersisa akan terurai dengan cepat tanpa menimbulkan efek toksik. (Sezer et al., 2018). Sejumlah elemen paduan, termasuk elemen esensial seperti kalsium (Ca), stronsium (Sr), seng (Zn), dan silikon (Si), bersama dengan unsur-unsur toksik rendah seperti timah (Sn) dan seng (Zr), telah dicampur ke dalam matriks magnesium. Tujuan dari penambahan ini adalah untuk mencapai ketahanan korosi yang diinginkan dan menjaga sifat mekanik selama proses degradasi berlangsung. Meskipun penambahan elemen paduan tersebut dapat meningkatkan ketahanan korosi pada beberapa contoh uji, namun ketersediaan biokompatibilitas dan perilaku korosi masih belum memuaskan. Secara umum, dalam Tabel 2, komposisi kimia dari Mg AZ31B tercantum dengan aluminium berkisar antara 2.5 hingga 3.5%, seng antara 0.60 hingga 1.4%, dan kadar besi (Fe) yang harus rendah, sekitar atau kurang dari 0.0050%. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya korosi berlebihan atau karat. (Witte et al., 2005).

Tabel 2. *Komposisi Kimia Mg AZ31B* (Matweb)

Unsur	%.wt
Aluminum, Al	2.5 - 3.5 %
Nickel, Ni	<= 0.0050 %
Calcium, Ca	<= 0.040 %
Zinc, Zn	0.60 - 1.4 %
Copper, Cu	<= 0.050 %
Iron, Fe	<= 0.0050 %
Silicon, Si	<= 0.10 %
Magnesium, Mg	96%
Manganese, Mn	>= 0.20 %

Sifat mekanik Mg AZ31B terdapat pada tabel 3 dengan *Hardness Brinell* berkisar 49 HB, *Tensile Strength* berkisar antara 200 – 260 MPa, elongasi 15% dengan modulus 15%.

Tabel 3. Sifat Mekanik Mg AZ31B (Matweb)

Sifat Mekanik (<i>Mechanical Properties</i>)	Satuan Metric
Kekerasan (<i>Hardness Brinell</i>)	49
Kekuatan Tarik Maksimum (<i>Ultimate Tensile Strength</i>)	260 MPa
Kekuatan tarik luluh (<i>Tensile Strength, Yield</i>)	200 MPa
	Strain 0.200 %
Kekuatan Mulur (<i>Elongation</i>)	15%
Kekakuan (<i>Young's Modulus</i>)	45.0 GPa
<i>Compressive Yield Strength</i>	97.0 MPa
<i>Ultimate Bearing Strength</i>	385 MPa
<i>Bearing Yield Strength</i>	230 MPa
Rasio Poisso	0.35
Modulus Geser	17.0 GPa
Kekuatan Geser	130 MPa
<i>Charpy Impact</i>	3.30J

2.3 Korosi

Korosi, secara umum, merujuk pada dampak yang timbul akibat reaksi kimia. Pada material yang terbuat dari logam, proses korosi terjadi ketika elektron dilepaskan dari logam (anoda) dan kemudian menempel ke logam lain (katoda). Tahap ini terjadi ketika terdapat zat yang bertindak sebagai elektrolit untuk menghantarkan arus listrik. Korosi merupakan fenomena yang kompleks dan tidak hanya berlaku pada bahan logam, akan tetapi pada bahan non-logam. Secara umum, korosi akan terjadi pada permukaan logam yang dikenal sebagai korosi umum.

Dalam proses korosi, logam mengalami oksidasi, sementara oksigen dari udara mengalami reduksi. Korosi adalah fenomena elektrokimia di mana terjadi perubahan kimia yang melibatkan aliran arus listrik. Sebagian dari logam berperan sebagai elektroda negatif (anoda), sementara yang lainnya berperan

sebagai elektroda positif (katoda). Aliran elektron terjadi dari anoda ke katoda, memicu terjadinya korosi (Ashadi & Gusniani, 2002):

2.4 Laju korosi

Laju korosi adalah proses yang terjadi dalam korosi, di mana oksigen meningkatkan kecepatan korosi di sekitar sel oksida. Korosi terjadi lebih cepat ketika oksigen bergerak ke arah katoda dan elektron dari anoda, di mana reaksi korosi terjadi. Pada suhu rendah atau larutan yang encer, reaksi ini tidak selalu terjadi dan arus elektron yang digunakan dapat kurang dari yang diharapkan sesuai dengan kurva katoda. Fenomena ini dikenal sebagai polarisasi katodik yang telah lama diketahui, dapat digambarkan dengan modifikasi kurva katoda. Hubungan antara laju korosi dan ketahanan korosinya dapat dilihat dalam Tabel 4. (Ayu SA et al., 2015).

Data yang diperoleh dari pengukuran ketebalan dan pengamatan visual kerusakan pada plat magnesium. Laju korosi dapat dihitung berdasarkan penurunan berat yang sebanding dengan waktu.

Tabel 4. Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi

Ketahanan korosi relative	Laju Korosi				
	<i>Mpy</i>	<i>mm/yr</i>	$\mu\text{m/yr}$	<i>nm/hr</i>	<i>Pm/s</i>
Sangat baik	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2- 10	1-5
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

Laju penyerangan atau laju korosi adalah kecepatan di mana logam menembus atau mengalami kehilangan berat per unit luas, tergantung pada metode pengukuran yang dipilih, dan diukur dalam satuan mmpy (*millimeter per year*) dan besarnya laju korosi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{Corrosion rate (mm/y)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana,

k = konstanta $8,76 \times 10^4$,

w = massa yang hilang (g) ,

D = massa jenis sampel uji (g/cm^3) = $5,937 \text{ g/cm}^3$,

A = luas permukaan terkorosi (cm^2) ,

T = waktu pengujian (hour)

Untuk dapat mencari nilai kehilangan berat (W) dari pelat magnesium yang telah terkorosi, dengan cara melakukan penimbangan spesimen sehingga diketahui berat awal dan berat akhir atau dinyatakan dengan kehilangan berat.

Mencari nilai kehilangan berat dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$\Delta W = W_0 - W_2 \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

ΔW = kehilangan berat, (g)

W_0 = berat awal, (g)

W_2 = berat akhir setelah pengujian, (g)

Nilai ketepatan laju korosi (K) dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Ketepatan Laju Korosi (K)

Corrosion Rate Units Desired	Constanta (K) In Corrosion Rate Equation
Mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year; (ipy)	3.45×10^3
Inches per month (ip/m)	2.87×10^2
Millimeters per year (mm/y)	8.76×10^4
Micrometers per year ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^7
Picometers per second (pm)	2.78×10^6

Dengan demikian, kita dapat memproyeksikan laju korosi atau corrosion rate yang mungkin terjadi pada plat magnesium yang sedang digunakan. Jika laju korosi tinggi, plat magnesium tidak akan bertahan lama. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian terhadap laju korosi dengan menerapkan perlindungan yang sesuai terhadap jenis korosi yang mempengaruhi plat tersebut. Langkah ini bertujuan untuk memastikan agar plat magnesium yang digunakan dapat mempertahankan keandalannya dalam jangka waktu yang panjang dengan mengurangi atau menghambat laju korosi yang terjadi..

2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Beberapa faktor memengaruhi kecepatan korosi dalam sistem larutan elektrolit, termasuk:

2.5.1 Komponen ion larutan dan konsentrasinya

Konsentrasi larutan merujuk pada jumlah zat terlarut dalam satu satuan larutan atau pelarut. Dalam larutan dengan konsentrasi tertentu, komponen larutan akan terdisosiasi menjadi ion-ion (baik kation maupun anion) yang membentuknya. Ion-ion ini memungkinkan larutan untuk menghantarkan muatan listrik yang tersebar di dalamnya. Muatan yang dihasilkan dari suatu larutan elektrolit ini akan mempengaruhi kecepatan reaksi elektrokimia yang terjadi antara anoda dan katoda. Larutan dengan konduktivitas yang tinggi akan mempercepat reaksi korosi, sehingga meningkatkan laju korosi.

2.5.2. pH

Nilai pH dalam larutan berkaitan dengan jumlah ion H^+ yang terlarut di dalamnya. Sebaliknya, nilai pH berbanding terbalik dengan konsentrasi ion H^+ di dalam larutan. Semakin rendah nilai pH menunjukkan semakin tingginya konsentrasi ion H^+ yang terlarut. Karena adanya peningkatan

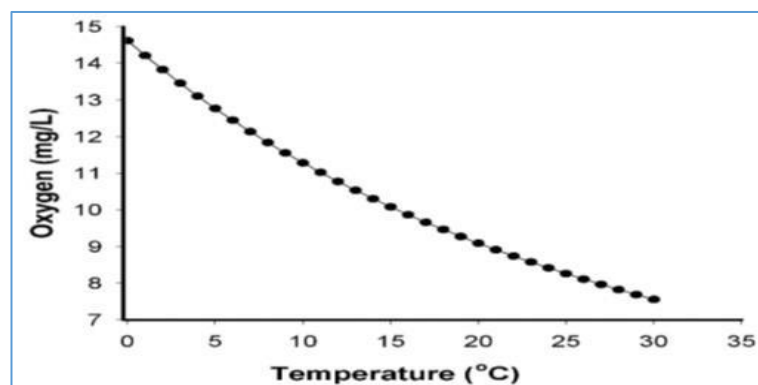
konsentrasi H^+ , elektron (e^-) yang berasal dari reaksi anodik akan berinteraksi dengan ion H^+ , menyebabkan jumlah ion logam positif yang dilepaskan untuk menyeimbangkan muatan positif berlebih akan semakin tinggi. Hal ini dapat meningkatkan arus batas katodik, sehingga laju pelarutan logam akan semakin tinggi.

2.5.3. Kadar Oksigen

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi).

2.5.4. Temperatur

Peningkatan suhu umumnya meningkatkan laju korosi, meskipun secara faktual kelarutan oksigen akan menurun seiring dengan peningkatan suhu. Jika logam terpapar pada suhu yang tidak seragam, maka terdapat kemungkinan besar untuk terbentuk korosi.



Gambar 1. *Solubility of oxygen in water at different temperatures*

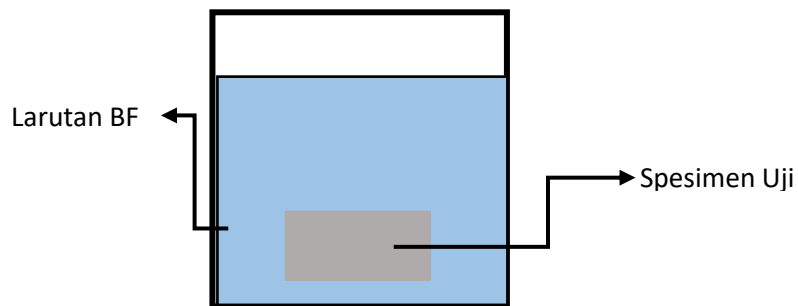
2.5.5. Kecepatan (pergerakan fluida)

Fluida yang mengalir dalam pipa dengan kecepatan di atas ambang kritis dapat menyebabkan potensi terjadinya korosi. Kerusakan pada permukaan logam akibat aliran yang sangat kuat ini disebut sebagai erosi. Proses erosi dapat dipercepat oleh adanya partikel-padatan dalam fluida yang mengalir atau oleh adanya gelembung-gelembung gas. Akibat dari kerusakan pada permukaan logam ini, lapisan film pelindung juga terganggu, sehingga memudahkan terjadinya korosi.

2.6 Pengujian simulasi kondisi cairan

Pengujian simulasi bertujuan untuk memonitor proses degradasi pada berbagai area simulasi yang diterapkan pada sampel material uji. Simulasi ini melibatkan variasi metode perendaman material dalam medium SBF. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa setiap pengujian mencerminkan kondisi cairan yang ada di berbagai jenis tulang manusia. Berikut adalah jenis pengujian yang dilakukan:

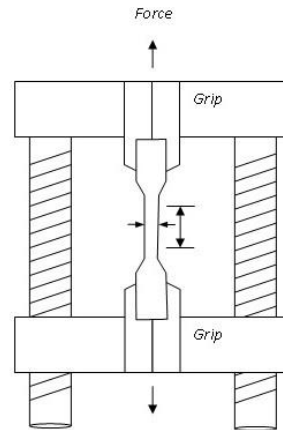
Uji Rendam merupakan proses pengujian di mana sampel uji direndam dalam larutan SBF. Pengujian ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi cairan di sekitar tulang kortikal (tulang spons). Simulasi metode uji rendam statik dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Simulasi metode uji rendam statik

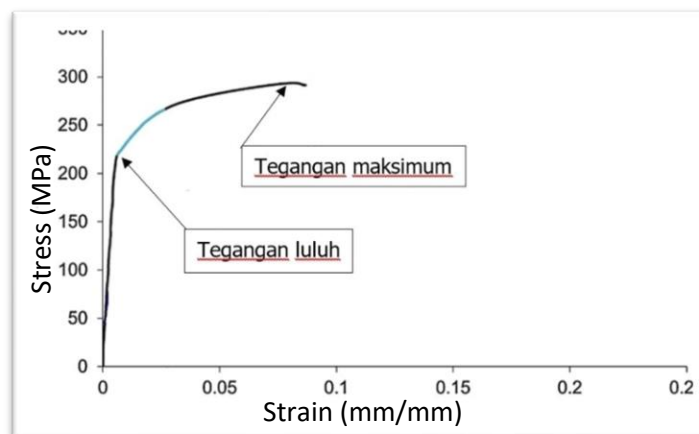
2.7 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik suatu material dapat diukur melalui uji tarik statis, seperti yang terlihat pada gambar 3, di mana material yang akan diuji terlebih dahulu diklem, kemudian diberi gaya tarik secara bertahap dan terus-menerus sampai material mengalami deformasi plastis dan akhirnya patah. Terdapat dua jenis patahan pada material, yaitu patah getas dan patah ulet. Untuk Mg AZ31B yang mengalami proses ekstrusi, jenis patahan yang terjadi cenderung bersifat getas..



Gambar 3. Skema Uji Tarik .

Standar pengujian tarik bervariasi tergantung pada jenis materialnya. Untuk logam baja dan paduannya, standar umum yang digunakan adalah ASTM E8. Namun, untuk magnesium AZ31B yang diproses melalui ekstrusi, standar yang digunakan adalah ASTM B557. *magnesium alloy products*.

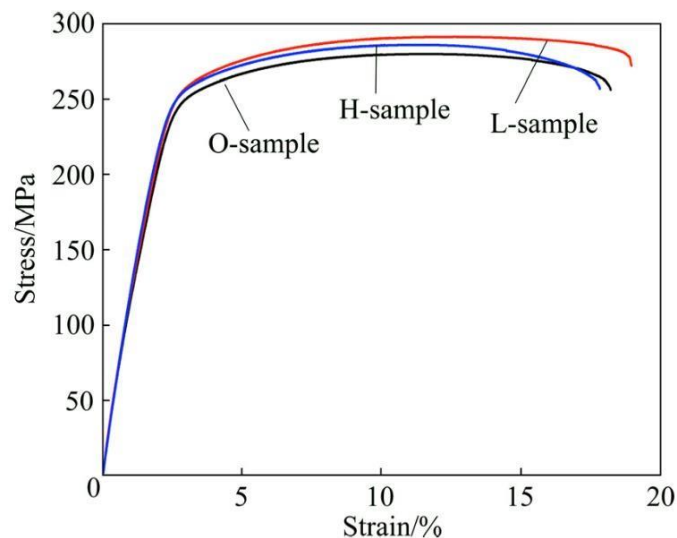


Gambar 4. Kurva Tegangan - Regangan Mg AZ31B

(Gzyl et al., 2015)

(Gzyl et al., 2015) telah dilakukan uji tarik terhadap Mg AZ31B Ekstrusi dan diperoleh kurva tegangan-regangan seperti yang terlihat pada gambar 4. Tegangan luluh ditunjukkan dengan warna biru muda (*cyan*) dengan nilai 220 MPa, yang menandai fase transisi material dari elastis ke plastis. Kekuatan tarik maksimum atau tegangan maksimum mencapai 280 MPa. Setelah mencapai kekuatan tarik maksimum, material langsung patah atau mengalami

patah getas. Secara teoritis maupun praktis, logam magnesium tidak mengalami fenomena pemuluran (*necking*) dan regangan yang dihasilkan sangat kecil, berbeda dengan logam baja dan paduannya yang umumnya memiliki kekuatan lebih tinggi. (SHU et al., 2018) kekuatan tarik yang didapatkan tidak berbeda jauh dengan (Gzyl et al., 2015) namun hanya terdapat 3 variasi sampel yaitu sampel O, H dan L.



Gambar 5. Kurva Tegangan - Regangan Mg AZ31B
(SHU et al., 2018)

Kurva Tegangan - Regangan Mg AZ31B Ekrusi dengan sampel O, H dan L kekuatan tarik oleh (SHU et al., 2018) Pada gambar 5, kekuatan luluh dari Sampel O, L, dan H adalah 238, 254, dan 253 MPa, sementara kekuatan tarik untuk sampel tersebut adalah 269, 293, dan 278 MPa. Kekuatan luluh atau tarik dari Sampel O lebih rendah dibandingkan dengan dua sampel lainnya. Sampel O menunjukkan adanya dislokasi dalam batas butir, yang disebabkan oleh proses pembentukan logam, yaitu ekstrusi dingin. Meskipun hasil menunjukkan peningkatan kecil dalam kekuatan luluh atau tarik serta regangan yang rendah. Secara teoritis atau dalam perhitungan manual, terdapat beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk memahami berbagai aspek kekuatan tarik seperti yang terlihat pada gambar tersebut.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (3)$$

keterangan :

σ : Tegangan (Kg/mm^2)

F : Beban(Kg)

A_0 : Luas penampang (mm^2)

Regangan dapat dihitung dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

keterangan :

ε = Regangan

L = Panjang mula dari batang uji

L_0 = Panjang batang uji yang dibebani

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

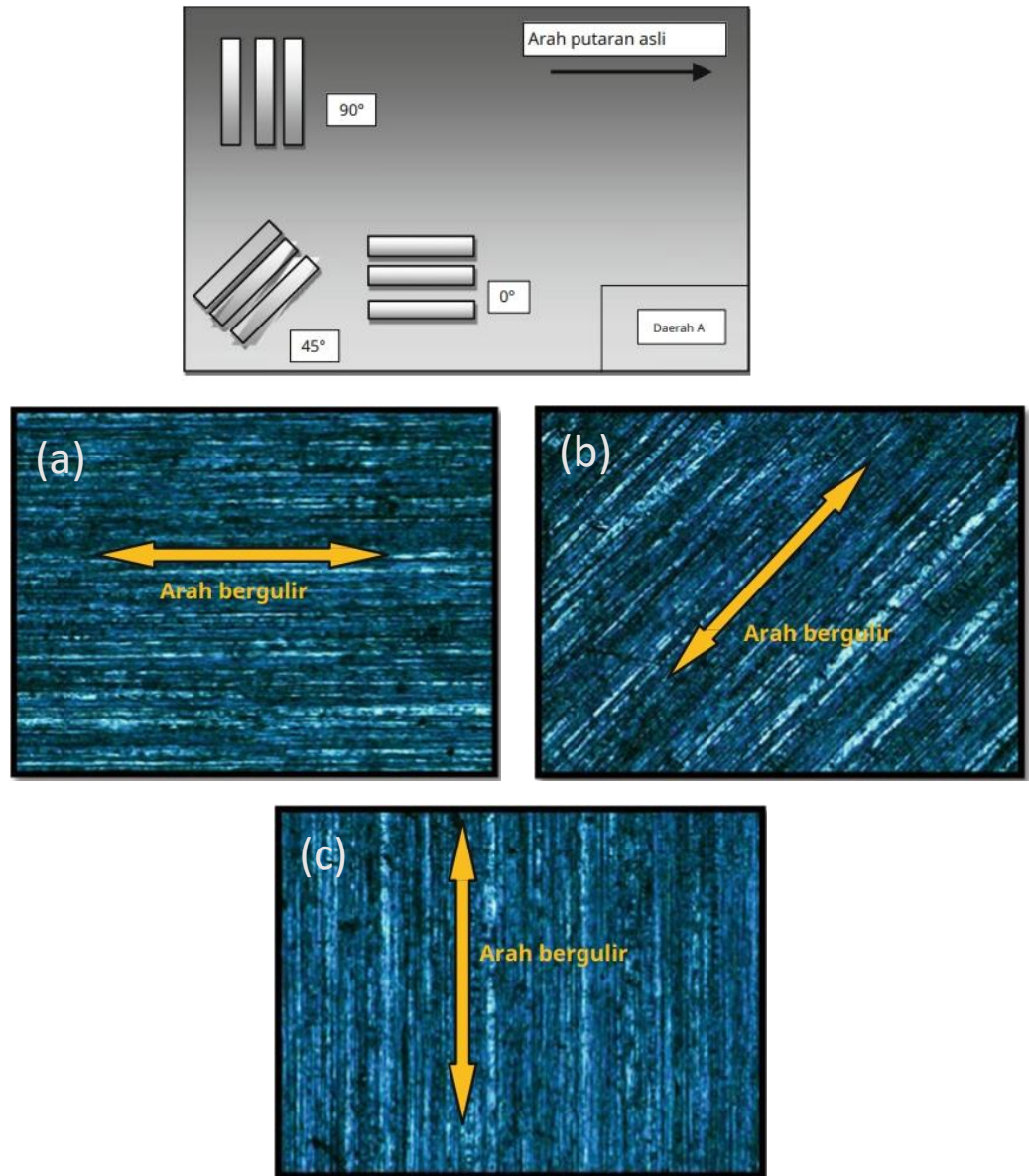
E = Modulus elastisitas (MPa),

σ = Tegangan Maksimum (kN/mm^2),

ε = Regangan

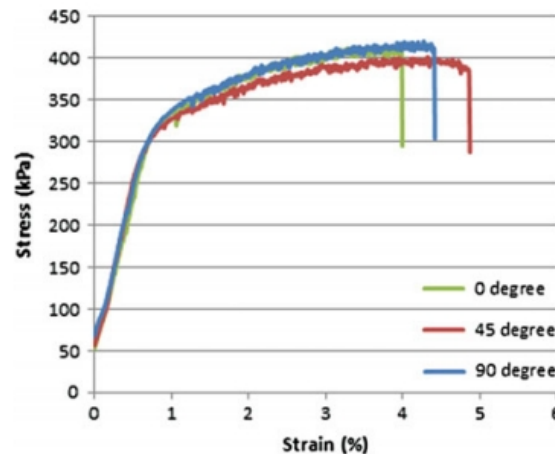
2.8 Arah Rolling

Dalam proses penggulangan untuk menghasilkan logam dalam bentuk pelat atau lembaran, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam arah penggulangan, seperti *annealing* dan butiran struktur mikro dan struktur makro, karena menjadi memanjang saat digulung. Berdasarkan arah penggulangan, orientasi kristalografi (tekstur) yang disukai dapat dikembangkan yang menyebabkan variasi sifat karena arahnya. Gambar dibawah merupakan hasil pengerolan beserta arahnya.



Gambar 6. Arah pengerolan butir (a) 0° kearah bergulir, (b) 45° kearah bergulir, dan (c) 90° kearah bergulir

Pada gambar (a) merupakan arah bergulir dari 0 derajat, gambar (b) merupakan arah bergulir dari 45 derajat, dan (c) merupakan arah bergulir dari 90 derajat. ketebalan dalam arah 0° , 45° , dan 90° Mengikuti bergulir, sampel berumur 190 $^\circ\text{C}$ selama 24 jam dan udara didinginkan. Sampel kemudian dikerjakan menjadi tarik spesimen pada sudut 0 angles, 45° , dan 90 angle sarah dan diuji dalam ketegangan. Solusi pengobatan dan penuaan mirip dengan yang digunakan oleh (Li et al., 2006).



Degree to rolling direction	Maximum force, $F_{\max}$ (kN)	Ultimate tensile strength, UTS (MPa)	Fracture stress (MPa)	Modulus of elasticity, E (GPa)	Work hardening, w
0°	15.63	416.90	384.76	52.77	1.19
45°	15.16	404.23	610.33	49.17	1.25
90°	15.83	422.17	422.88	47.92	1.22

Gambar 7. Hasil uji tarik

Ditemukan bahwa gaya dan tegangan maksimum dihasilkan dari angka 90°orientasi. Hal ini sesuai dengan hasil (Said Omar S.Es et al., 2011). untuk spesimen Al-Cu-Li. Diharapkan 0°orientasi akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi jika diberi perlakuan panas dan umur yang benar.

Tampaknya gaya dan tegangan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya sudut orientasi. Sebaliknya, Modulus Young menurun seiring dengan meningkatnya sudut orientasi. Dengan kata lain butiran yang memanjang 0°terhadap gaya tarik memberikan Modulus Young yang lebih tinggi. (Li et al., 2006). juga menemukan bahwa, terdapat pula korelasi antara orientasi butir dan deformasi struktur. 45°orientasi memberikan regangan dan hasil pengerasan kerja tertinggi.

Hal ini disebabkan meningkatnya tingkat tegangan berbanding lurus dengan perubahan deformasi plastis. Namun efek kerja atau pengerasan regangan hanya terjadi pada tahap awal deformasi plastis. Dengan demikian, begitu struktur berubah bentuk dan rusak, pengaruh pengerasan kerja juga akan hilang. Hal ini juga terbukti bahwa spesimen jauh lebih ulet ketika pengerasan kerja meningkat seperti yang dinyatakan oleh (Dieter et al., 2003). . Dengan demikian,

perpanjangan tertinggi terhadap patahan dan tegangan patah diperoleh dari orientasi sudut yang sama. Namun demikian, dapat diringkas bahwa kurva respons spesimen tarik berubah seiring dengan perubahan arah penggulangan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan kurang lebih 5 bulan dimulai dari bulan November 2023 sampai Maret 2024 seperti pada jadwal penelitian pada tabel yaitu,

Tabel 6. Rencana Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	X	X	X	X												
2	Menyusun laporan			X	X	X	X										
3	Seminar proposal						X	X	X								
4	Menyiapkan alat & bahan									X	X	X	X				
5	Fabrikasi magnesium AZ31B													X	X	X	
No	Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
6	Menyiapkan pengujian	X	X	X	X												
7	Pengujian laju korosi				X	X	X										
	Pengujian Tarik					X	X	X									
8	SEM-EDS								X	X							
9	Seminar hasil										X	X	X				
10	Ujian komprehensif													X	X		

Adapun tempat penelitian akan dilakukan dalam pengujian ini yaitu,

1. Proses mempersiapkan alat dan bahan, fabrikasi magnesium AZ31B dilakukan di SMK Muhammadiyah 2 Kalirejo, Lampung Tengah.
2. Proses fabrikasi *chamber* dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung.

3. Proses pengambilan data analisis uji korosi, dan uji tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung.
4. Proses pengambilan data analisis SEM-EDS dilakukan di Laboratorium Mineral BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan bahan penelitian

Adapun alat dan bahan beserta spesifikasinya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Magnesium AZ31B

Bahan penelitian pada pengujian ini menggunakan material magnesium AZ31B dengan ketebalan 3 mm. Material magnesium AZ31B yang didapatkan dari pasaran dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 8. Material magnesium AZ31B

Tabel 7. Spesifikasi Mg AZ31B

Lot Number	Mechanical properties			Component %						
	Tensile strength	YTS (0,2 Mpa)	Elongation %	Si	Fe	Cu	Mn	Al	Zn	Ni
	235	125	8	MAX 0,08	MAX 0,003	MAX 0,01	0,20 1,0	2,5 3,5	0,60 1,4	MAX 0,001
23092812	255	135	9,4	0,046	0,0019	0,0062	0,69	3,1	0,89	0,00069

2. *Body fluid* (BF)

Body Fluid atau BF digunakan sebagai medium larutan untuk menguji laju korosi yang terjadi terhadap pengujian. *body fluid* (BF) dapat dilihat pada gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. *Ringer laktat*

Tabel 8. Spesifikasi kandungan ringer laktat Setiap 500ml

Daftar Spesifikasi	
<i>Sodium Lactate</i>	1.55 g
<i>Sodium Chloride</i>	3.0 g
<i>Potassium Chloride</i>	0.15 g
<i>Calcium Chloride</i>	0.1 g
<i>Water for injection</i>	500 ml
Osmolaritas	274 mOsm/l
Na ⁺	130.3 mEq/l
Cl ⁻	109.4 mEq/l
K ⁺	4 mEq/l
Ca ⁺⁺	2.7 mEq/l
<i>Lactate</i>	27.7mEq/l

3. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengetahui *weight loss* yang terjadi selama pengujian berlangsung. Timbangan digital dapat dilihat pada gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Timbangan digital

Tabel 9. Spesifikasi timbangan digital.

Daftar Spesifikasi	
Merk	ADAM-PW354
Ketelitian	0,0001 gr
Kapasitas Maksimal	250 gr

4. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen setelah dilakukan pemotongan untuk digunakan sebagai spesimen uji tarik maupun spesimen uji korosi dan digunakan untuk mengukur diameter lubang spesimen yang telah berbentuk kupon. Jangka sorong dapat dilihat pada gambar 11 sebagai berikut.



Gambar 11. Jangka sorong

Tabel 10. Spesifikasi jangka sorong

Daftar Spesifikasi	
Merk	Mitutoyo
Ketelitian	0,001mm / 0,0005 in
Range	0 - 150 mm / 0 - 6 in
Akurasi	0,02 mm / 0,001 in
Berat	800 gr

5. *Hydraulic servopulser* Mesin Landmark MTS 100 kN

Mesin *Landmark* MTS 100 kN digunakan untuk uji tarik pada spesimen yang telah dibentuk sesuai standar. *Hydraulic servopulser* Mesin *Landmark* MTS 100 kN dapat dilihat pada gambar 12 sebagai berikut.

Gambar 12. *Hydraulic servopulser* mesin landmark MTS 100 kN.Tabel 11. Spesifikasi *Hydraulic servopulser* mesin landmark MTS 100 kN

Daftar Spesifikasi	
Merk	MTS Landmark
Tipe	U PD 10
Kapasitas	100 kN
Tahun	2015
Skala Pengukuran Pembebanan	
A	0-20 kN
A+B	0-50 kN
A+B+C	0-100 kN

6. Ultrasonic Cleaner

Ultrasonic Cleaner adalah alat pembersih material sebelum dilakukan proses Anodizing. Cara kerjanya menggunakan gelombang ultrasonic dengan menggunakan cairan pembersih khusus.



Gambar 13. Ultrasonic Cleaner

Tabel 12. Spesifikasi Ultrasonic Cleaner

Daftar Spesifikasi	
Merk	GT SONIC
Model	MH-020S
Power supply	200-240 Volt, 50 Hz
Ultrasonic Frekuensi	40 KHz
Ultrasonic Power	120 W
Heating Power	100 W

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian memiliki prosedur untuk dapat dilaksanakannya pengujian adapun prosedur yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen uji

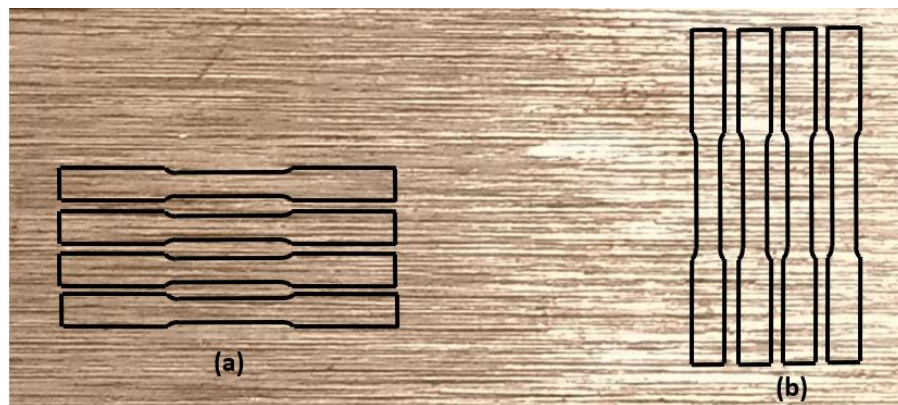
Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu magnesium AZ31B dalam bentuk plat. Dalam penelitian ini akan dilaksanakan pengujian tarik korosi dan laju korosi dimana akan dipersiapkan

2. Pembuatan spesimen uji tarik

Magnesium AZ31B berbentuk plat dengan tebal 3 mm, panjang 200 mm dan lebar 25 mm. Spesimen uji tarik dibentuk sesuai dengan standar ASTM B557M.

Tabel 13. Parameter pembuatan spesimen uji tarik

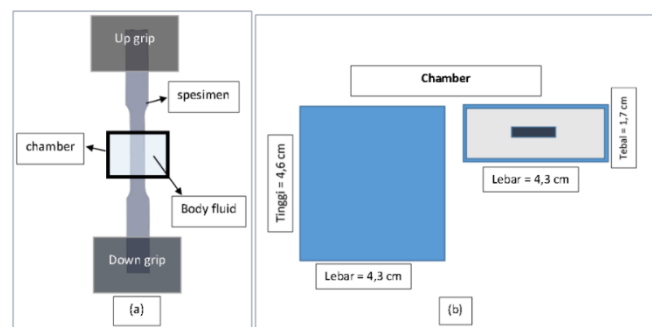
No	Matriks	Spesifikasi	Susunan serat butir dari pabrikan
1	X	AZ31B	Searah pemotongan
2	Y	AZ31B	Berlawanan arah pemotongan



Gambar 14. (a) spesimen searah pemotongan (arah X), dan
(b) berlawanan arah pemotongan (arah Y)

3. Pembuatan chamber pengujian tarik korosi

Chamber tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut, panjang 30 mm, lebar 15 mm dan tinggi 6 mm dengan volume larutan 20 ml. Chamber ini digunakan untuk merendam daerah *gage length* pada spesimen uji tarik magnesium AZ31B.



Gambar 15.(a) posisi pengujian, (b) Chamber pengujian

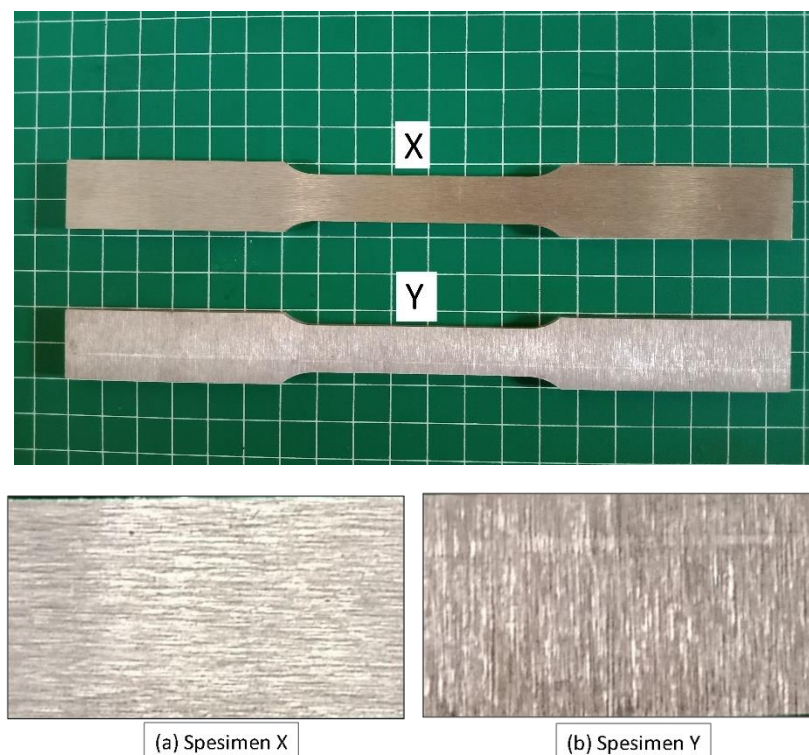
3.4 Pelaksanaan pengujian

Adapun pelaksanaan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Pengujian tarik

Tujuan dari uji tarik adalah untuk memahami tegangan, regangan, dan modulus elastisitas suatu bahan dengan cara menarik spesimen hingga putus. Penilaian kekuatan tarik material didasarkan pada kurva tegangan-regangan. Komponen utama dari kekuatan tarik termasuk kekuatan tarik maksimum (tensile strength), tegangan luluh (σ_y), dan modulus elastisitas (E) dari bahan tersebut dapat ditentukan dari data yang dihasilkan.

Ukuran dan bentuk spesimen uji tarik mengikuti standar ASTM B557. Detail mengenai skema spesimen uji tarik dapat ditemukan pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil fabrikasi spesimen uji tarik

2. Persiapan spesimen uji laju korosi

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah magnesium AZ31B tahapan persiapan spesimen akan dijelaskan pada prosedur berikut:

- a. Pemotongan material, material magnesium yang digunakan untuk pengujian pada penelitian ini berbentuk plat dan terlebih dahulu dipotong menjadi persegi dengan ukuran panjang 19,94 mm, lebar 9,82 mm, dan tebal 3,19 mm.
- b. Setelah itu spesimen yang telah terbentuk dengan ukuran panjang 19,94 mm, lebar 9,82 mm, dan tebal 3,19 mm untuk kemudian diberikan angka pada setiap spesimen pengujian sebelum dilaksanakan uji laju korosi.



Gambar 17. Spesimen uji korosi

3. Uji laju korosi

Larutan yang dipakai untuk media korosi yaitu larutan *body fluid* (BF) yang mana sering digunakan pada cairan infuse konvensional. Dalam pengujian rendam (*immersion test*) skala laboratorium, Berdasarkan ASTM G31, jumlah volume larutan untuk perendaman minimal adalah:

$$\text{Volume larutan} = (0.2 \text{ s/d } 0.4) \times \text{luas permukaan} \dots \dots \dots (6)$$

Oleh karena itu, sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu luas permukaan

spesimen yang akan diuji dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Luas permukaan} = (2W \times T) + (2L \times T) + (2W \times L) \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

L = panjang spesimen (mm)

W = lebar spesimen (mm)

T = tebal spesimen (mm)

Berdasarkan persamaan diatas maka dapat dihitung luas permukaan dan volume yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan} &= (2W \times T) + (2L \times T) + (2W \times L) \\ &= (2 \times 9,82 \times 3,19) + (2 \times 19,94 \times 3,19) + (2 \times 9,82 \times 19,94) \\ &= 62,6516 \text{ mm}^2 + 127,2172 \text{ mm}^2 + 391,6216 \text{ mm}^2 \\ &= 581,4904 \text{ mm}^2 \\ &= 58,14904 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan} &= (0.2 \text{ s/d } 0.4) \times \text{luas permukaan} \\ &= (0.2 \times 58,14904) - (0.4 \times 58,14904) \\ &= 11,63 \text{ ml s/d } 23,26 \text{ ml} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan tersebut maka sebelum menuangkan larutan ke SBF tank adalah menuangkan larutan SBF kedalam gelas ukur untuk mengukur banyaknya larutan yang akan digunakan sesuai standar sebagai medium pengujian korosi. Penuangan Larutan SBF kedalam gelas ukur 100 ml dapat dilihat pada gambar 18 sebagai berikut.



Gambar 18. Penuangan larutan BF kedalam gelas ukur 100ml

4. Uji Rendam

Immesrion test atau uji rendam material dilakukan dengan merendam material di dalam larutan BF dengan parameter waktu selama 8 jam, 16 jam dan 24 jam. Proses yang perlu dilakukan antara lain:

1. Siapkan alat dan bahan yang akan dibutuhkan.
2. Bersihkan sampel dengan *Ultrasonic Cleaner*.
3. Timbang material baku yang akan digunakan.
4. Tuangkan larutan BF yang telah ditakar akan kedalam wadah uji rendam.
5. Setelah semua siap, masukan material yang kedalam wadah pengujian.

Hasil pengujian uji rendam dapat dilihat pada gambar 15 sebagai berikut.

6. Tunggu sesuai dengan variasi parameter yang telah ditentukan.
7. Setelah dilakukan proses pengujian, spesimen uji dapat diambil dari larutan kemudian dibersihkan.
8. Setelah spesimen dibersihkan, maka keringkan spesimen tersebut agar air yang ada dapat hilang.
9. Jika sudah kering, spesimen dapat ditimbang untuk mengetahui berat akhir spesimen setelah dilakukan pengujian korosi.



Gambar 19. Perendaman spesimen

5. **Penimbangan berat usai uji**

Setelah membersihkan dan mengeringkan spesimen, berat spesimen diukur untuk mengetahui berapa berat yang hilang selama proses pengujian korosi. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan digital..

6. **Analisa berat**

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil dari dua jenis penimbangan yang telah dilakukan. Jenis penimbangan yang dimaksud mencakup penimbangan sebelum uji korosi dimulai dan penimbangan setelah proses uji korosi selesai. Analisis tersebut bertujuan untuk membandingkan apakah berat spesimen mengalami penurunan, tetap stabil, atau meningkat karena faktor-faktor tertentu. Jika berat spesimen mengalami penurunan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan laju korosi. Namun, jika tidak terjadi perubahan berat atau bahkan terjadi peningkatan, disarankan untuk melakukan penimbangan ulang jika ada kecurigaan dalam proses penimbangan, atau mempertimbangkan ulang untuk melakukan uji korosi jika diperlukan.

7. **Perhitungan laju korosi**

Setelah spesimen direndam dalam larutan dan dibersihkan, hasil uji dapat diambil dengan menimbang berat akhir spesimen. Selanjutnya, laju korosi dapat dihitung menggunakan metode kehilangan berat atau weight loss. Rumus perhitungan laju korosi dengan metode kehilangan berat sesuai dengan ASTM G31 adalah:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

Laju Korosi (mm/y)

K = Konstanta laju korosi ($8,76 \times 10^4$)

W = Massa yang hilang (g)

D = Luas permukaan spesimen (cm²)

A = Waktu perendaman (jam)

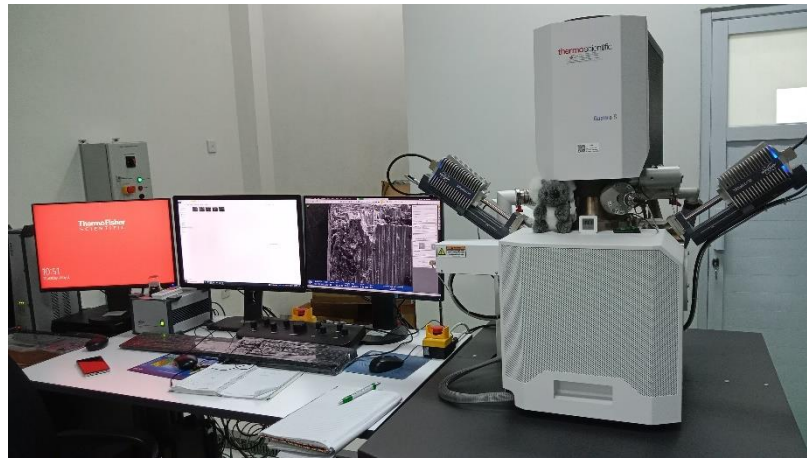
T = Densitas spesimen (g/cm³)

Setelah dilakukan perhitungan laju korosi dan didapatkan data hasil pada setiap metode pengujian dan variasinya maka untuk memudahkan pembahasan data uji korosi rendam yang didapat dapat dilihat pada tabel 11 berikut:

Tabel 14. Perhitungan Laju Korosi

Spesimen	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Selisih berat (gr)	Lama uji (jam)	Luas area (cm ²)	Laju korosi (mpy)	Jenis Korosi	Rata-rata laju korosi (mpy)
A1								
A2								
A3								
A4								
B1								
B2								
B3								
B4								
C1								
C2								
C3								
C4								

8. Pengamatan SEM-EDS



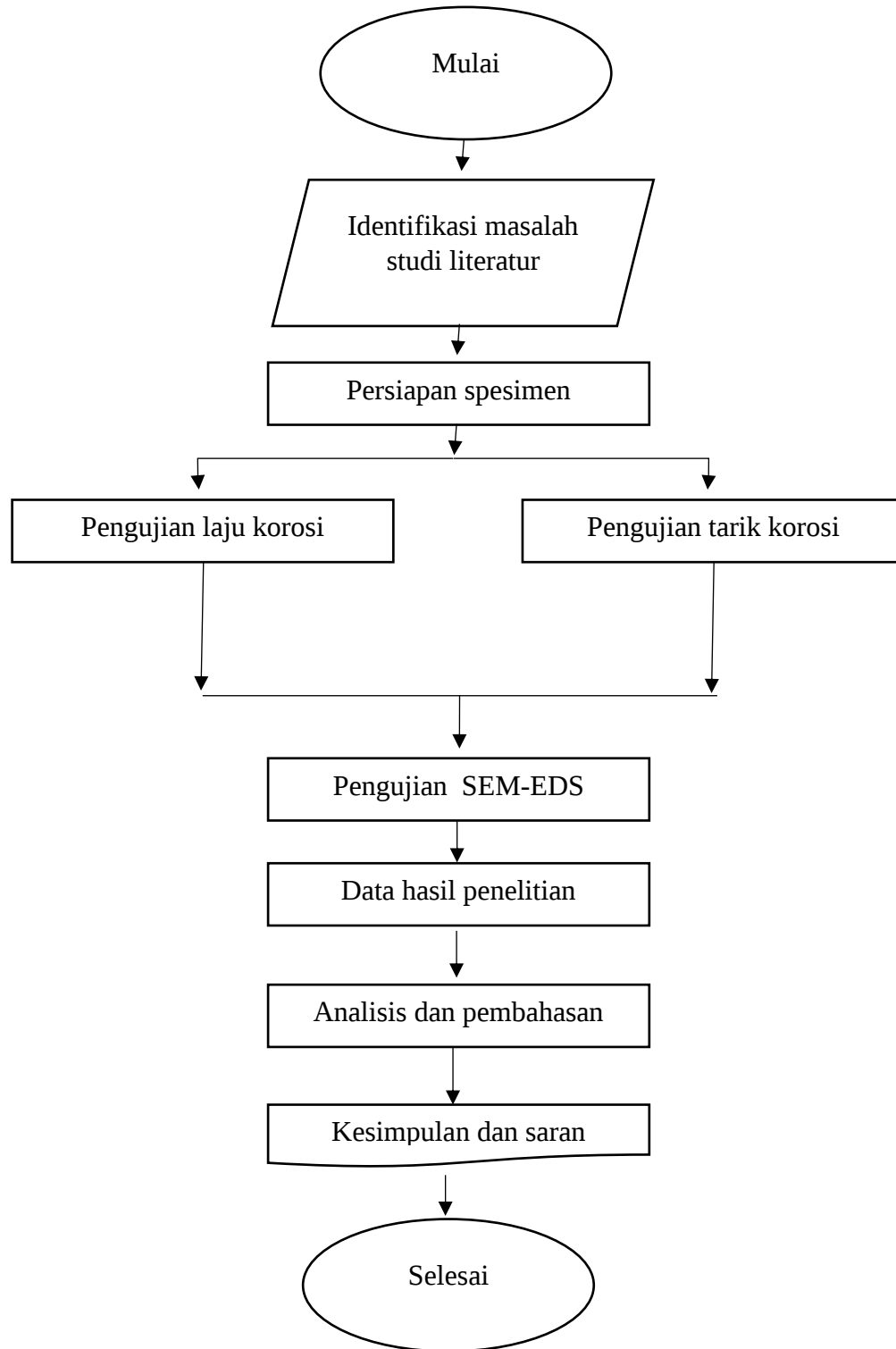
Gambar 20. *Scanning Electron Microscope*

Tabel 1. Spesifikasi alat uji SEM-EDS

No	SEM <i>Thermo Scientific Quattro S</i>	Spesifikasi
1	Magnification	Pembesaran hingga 150.000 kali
2	Kelengkapan	Dekstop SEM yang dilengkapi dengan EDS

3.5 Diagram alir

Diagram alir penelitian merupakan alur penelitian yang dilakukan dari awal sampai akhir penelitian, diagram alir penelitian yaitu sebagai berikut,



V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian laju korosi mendapatkan hasil yang bervariasi dimana pada perendaman 8 jam didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0,05655 mmpy, pada perendaman 16 jam didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0,03799 mmpy, dan pada perendaman 24 jam didapatkan rata rata laju korosi sebesar 0,02305 mmpy. Nilai laju korosi pada perendaman 8 jam dan 16 jam didapatkan hasil minus hal ini disebabkan oleh bertambahnya massa dari spesimen setelah perendaman, pertambahan masa pada spesimen yang disebabkan oleh proses oksidasi dimana dalam proses ini oksigen dan hidrogen masih menempel pada logam magnesium sehingga menambah masa total. Pada perendaman 24 jam magnesium sudah mengalami korosi dengan hasil laju korosi sebesar 0,02305 mmpy menurut teori hubungan laju korosi dan ketahanan korosi magnesium AZ31B ini memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi karena laju korosi yang didapatkan tidak lebih dari 0,02-0,1 mmpy.
2. Korosi yang terjadi setelah dilakukan pengujian laju korosi antara lain adalah korosi pitting, intergranular corrosion, stress corrosion cracking dan korosi celah
3. Berdasarkan penelitian diatas bahwa spesimen searah pemotongan (X) memiliki ultimate tensile strength dan yield strength yang lebih tinggi dibandingkan spesimen berlawanan arah pemotongan (Y). Permukaan fraktur yang didapatkan menunjukkan bahwa spesimen searah pemotongan (X) memiliki sifat *ductile* sedangkan spesimen berlawanan arah pemotongan (Y)

memiliki sifat *britel*. Dengan demikian arah pemotongan memiliki pengaruh signifikan pada sifat tarik magnesium AZ31B yang diuji.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian “Pengaruh Perendaman Penuh (*Total Immersion*) Magnesium AZ31B Dalam Larutan *Ringer Laktat* Terhadap Perilaku Korosi Dan Kekuatan Tarik“ yaitu sebagai berikut,

1. Sebaiknya dalam pengujian laju korosi pengamatan dilakukan secara berkala .
2. Selanjutnya untuk melakukan pengujian *contact angel* .
3. Selanjutnya melakukan pengujian kekerasan setelah pengujian korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashadi, H. W., & Gusniani, I. (2002). *Pengaruh Unsur-Unsur Kimia Korosif Terhadap Laju Korosi Tulangan Beton : Ii. Di Dalam Lumpur Rawa.*
- Ayu SA, G. A., Rahmayanti, D., Nindy Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung Jl Sumantri Brojonegoro No, dan E., & Lampung, B. (2015). *Perhitungan Laju Korosi di dalam Larutan Air Laut dan Air Garam 3% pada Paku dan Besi ASTM A36.*
- Dieter, G. E., Kuhn, H. A., & Semiatin, S. L. (2003). *Handbook of workability and process design.* ASM International.
- Friedrich, H. E., & Mordike, B. L. (2006). *Magnesium technology : metallurgy, design data, applications.* Springer.
- Gzyl, M., Pesci, R., Rosochowski, A., Boczekal, S., & Olejnik, L. (2015). In situ analysis of the influence of twinning on the strain hardening rate and fracture mechanism in AZ31B magnesium alloy. *Journal of Materials Science*, 50(6), 2532–2543. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8812-0>
- Jayasathyakawin, S., Ravichandran, M., Baskar, N., Chairman, C. A., & Balasundaram, R. (2020). Mechanical properties and applications of Magnesium alloy – Review. *Materials Today: Proceedings*, 27, 909–913. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.255>
- Li, P. X., Zhang, B. P., Chen, J. Y., & Tu, Y. F. (2006). Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy sheets prepared by extruding and rolling. *Advanced Materials Research*, 11–12, 653–656. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.11-12.653>
- MERT, F. (2017). Wear behaviour of hot rolled AZ31B magnesium alloy as candidate for biodegradable implant material. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 27(12), 2598–2606. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60287-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60287-5)
- Mordike, B. L., & Ebert, T. (2001). Magnesium Properties-applications-potential. In *Materials Science and Engineering* (Vol. 302). www.elsevier.com/locate/msea
- Said Omar S.Es, Parrish C.J, Bradberry C.A, & Hassoun J.Y. (2011). Effect of Stretch Orientation and Rolling Orientation on the. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(7).

- Sezer, N., Evis, Z., Kayhan, S. M., Tahmasebifar, A., & Koç, M. (2018). Review of magnesium-based biomaterials and their applications. In *Journal of Magnesium and Alloys* (Vol. 6, Issue 1, pp. 23–43). National Engg. Reaserch Center for Magnesium Alloys. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2018.02.003>
- SHU, Y., ZHANG, X. yan, YU, J. ping, TAN, L., YIN, R. sen, & LIU, Q. (2018). Tensile behaviors of fatigued AZ31 magnesium alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(5), 896–901. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64723-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64723-5)
- Staiger, M. P., Pietak, A. M., Huadmai, J., & Dias, G. (2006a). Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. In *Biomaterials* (Vol. 27, Issue 9, pp. 1728–1734). <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.10.003>
- Staiger, M. P., Pietak, A. M., Huadmai, J., & Dias, G. (2006b). Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. In *Biomaterials* (Vol. 27, Issue 9, pp. 1728–1734). <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.10.003>
- Sukmana, I. (2020). A novel porous magnesium production through powder metallurgy technique using wire-pieces of titanium space holder for bone scaffold materials. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 1(2). <https://doi.org/10.23960/jesr.v1i2.18>
- Sukmana, I., Hermanto, A., Burhanuddin, Y., Brojonegoro No, S., Lampung, B., Negeri, S., Agung, S., & Raya Dono Arum Kecamatan Seputih Agung Kabupaten Lampung Tengah, J. (2016). *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV) Bandung, 5-6 Oktober 2016 MT-034 Aplikasi Logam Magnesium dan Paduannya Sebagai Material Baut Tulang Mampu Luruh*.
- Witte, F., Kaese, V., Haferkamp, H., Switzer, E., Meyer-Lindenberg, A., Wirth, C. J., & Windhagen, H. (2005). In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response. *Biomaterials*, 26(17), 3557–3563. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.09.049>
- Zhang, L. C., Xu, M., Hu, Y. D., Gao, F., Gong, T., Liu, T., Li, X., & Pan, C. J. (2018). Biofunctionization of biodegradable magnesium alloy to improve the in vitro corrosion resistance and biocompatibility. *Applied Surface Science*, 451, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.235>