

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Biomaterial umumnya digunakan sebagai material yang kontak anti bagian system tubuh yang mengalami kerusakan atau langsung dengan sistem biologi seperti implant, alat Kesehatan, dll. Implan biomaterial merupakan material yang digunakan sebagai pengmasalah untuk sementara (*scaffold*) atau selamanya. Biomaterial implan *scaffold* berfungsi sebagai material penunjang yang berfungsi untuk merangsang jaringan baru untuk tumbuh seperti, implant tulang berpori. Biomaterial sebagai implan selamanya seperti penunjang pembantu detak jantung, valve, alat bantu pernapasan dan lain sebagainya. Biomaterial untuk kebutuhan implantasi (implantable biomaterials) sudah sejak lama digunakan sejak lebih dari dua ribu (2000) tahun yang lalu, dimana bangsa- bangsa Mesir dan China di dataran Asia dan Afrika, serta Aztec di dataran Amerika, telah memiliki peradaban kuno dengan menggunakan emas untuk perawatan gigi. Logam untuk alat kesehatan telah mengalami perkembangan sejak penemuan baja tahan karat (stainless steel) di tahun 1920an dan pembentukan komite F04 dari ASTM (American Society for Testing and Materials) tahun 1962 (Irza Sukmana, 2022).

Dari data kecelakaan yang dihimpun selama periode 2020-2023, tampak angka kecelakaan di Indonesia terus mengalami kenaikan. Angka kecelakaan di jalan pada 2020 mencapai 100.028 kasus. Dari angka tersebut, 73% kecelakaan melibatkan sepeda motor. Usia pelajar, khususnya tingkat SMA menjadi kasus kecelakaan sepeda motor terbanyak, yakni lebih dari 80 ribu orang. Angka tersebut disusul oleh kasus kecelakaan oleh pelajar SMP sebanyak 17 ribu dan pelajar SD sebanyak 12 ribu orang. Sementara itu, kecelakaan yang melibatkan mahasiswa dengan tingkat pendidikan D3, S1 dan S2 masing-masing mencapai 770, 3.751, dan 136 orang. Selain sepeda motor, kecelakaan jalan juga terjadi pada angkutan barang dengan persentase sebesar 12%. Angka ini menyebabkan angkutan barang menempati peringkat kedua jenis kecelakaan jalan terbanyak. Tahun 2021, jumlah kecelakaan mengalami peningkatan sebesar 3,62%. Total kecelakaan jalan pada tahun tersebut ialah 103.645 orang. Kecelakaan sepeda motor masih menjadi jenis kecelakaan yang paling banyak terjadi dengan persentase yang sama, yakni 73%. Sementara itu, terjadi lonjakan jumlah kecelakaan yang cukup besar pada 2022. Sebanyak 131.500 kasus kecelakaan dengan korban jiwa mencapai 26.100 orang. Sepeda motor masih menduduki sebagai jenis kecelakaan yang paling banyak terjadi dengan persentase yang juga meningkat dari 73% menjadi 74,35%. Di tahun 2023, kecelakaan yang terjadi di jalan telah mencapai 155 ribu kasus. dari angka tersebut sebanyak 66.602 kecelakaan berasal dari kalangan pelajar dengan jenis transportasi yang sama, yakni sepeda motor (Aslamatur Rizqiyah, 2023). Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia dari banyaknya kecelakaan lalu lintas nesia, sebanyak 8 juta orang terkena patah fraktur tulang (2020). Dengan begitu banyak patah tulang akibat kecelakaan, iling efektif adalah dengan implan tulang. Data implan tulang ng didapatkan dari BPPT di bidang kesehatan dan pangan han terhadap implan tulang di Indonesia sekitar 120 ribu per ekitar Rp. 600 miliar. Sedangkan kebutuhan implan gigi pun ulan dengan harga sekitar Rp2,5 miliar. alau kita lihat data di



sini kurang lebih Rp75 miliar per tahun harus dikeluarkan untuk kebutuhan implan gigi (Faustinus Nua, 2021). Disini bisa dilihat bahwa dari 8 juta patah tulang akibat kecelakaan lalu lintas, hanya 120 ribu orang yang menginginkan implan tulang. Artinya sebanyak 7 juta 880 ribu orang belum ingin implan tulang, dan masalah utamanya adalah biaya mahal dan stok dari implan tulang itu sendiri. Material Implan diharuskan memiliki beberapa persyaratan, antara lain tidak menimbulkan pengaruh buruk pada tubuh, memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki kekuatan yang baik terutama kekuatan fatik dan ketangguhan. Di dalam aplikasinya digunakan untuk menggantikan atau mengembalikan fungsi dari komponen tulang yang mengalami kegagalan/kerusakan jenis material implan, syarat material implant yaitu; 1) Biocompatible, material harus dapat menyatu dengan tubuh jangan sampai terjadi penolakan dari tubuh terhadap material yang di implan, 2) Material implan sebisa mungkin tahan terhadap korosi, degradasi, dan keausan, material yang akan di implan harus dapat bertahan lama di dalam tubuh saat fase penyembuhan, karena di dalam tubuh manusia itu sendiri lingkungannya sangat korosif, sehingga dibutuhkan material yang tahan terhadap korosi, 3) Mechanical properties yang sama antar implan dengan tulang manusia itu sendiri ketika sedang bekerja mengalami beberapa pembebanan. Hal ini dimaksudkan agar ketika implan tersebut bekerja dan mengalami pembebanan maka implan tersebut dapat memenuhi fungsinya sebagai pengganti dari sendi tulang yang rusak tersebut, 4) Bioactive, material implan diharapkan dapat menyatu dengan jaringan ketika telah ditanam didalam tubuh manusia, 5) Osteoconductive, material ini harus dapat menghubungkan atau sebagai perekat antara tulang dengan implan ( Cahya Sutowo, 2014 ).

Pemilihan material yang baik harus memiliki sifat mekanik maupun sifat fisik yang baik karena sangat penting untuk rekayasa jaringan pada tubuh manusia. Magnesium dipilih karena memiliki sifat mekanik menyerupai tulang dan mampu terdegradasi, dimana produk degradasinya dapat terurai kedalam tubuh dan tidak berbahaya (non-toxic) bagi metabolisme tubuh serta merupakan material yang biokompatibelitas (Sukmana et al., 2016). Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan material yang melepaskan ion bioaktif seperti  $Zn^{2+}$ ,  $Si^{4+}$  dan  $Mg^{2+}$  untuk regenerasi jaringan pada area yang mengalami kerusakan dalam tubuh manusia. Ion  $Mg^{2+}$  memiliki kelebihan tersendiri karena sangat penting dalam metabolisme pada tubuh manusia, seperti sintesis protein, fungsi otot, sistem saraf dan kekebalan. Beberapa riset menunjukkan bahwa ion  $Mg^{2+}$  meningkatkan pembaruan jaringan kulit, meningkatkan fungsi pelindung kulit, meningkatkan hidrasi kulit, dan mengatur proliferasi dan diferensiasi epiderma. Selain itu, ion  $Mg^{2+}$  yang dilepaskan memberikan respons biologis yang sangat baik dan mendorong pembentukan kolagen pada luka kulit. Keunggulan ini memberikan peluang yang menjanjikan untuk penggunaan Mg sebagai biomaterial regenerasi jaringan, material implan dan drug delivery system. Penambahan logam Mg pada polimer selain karena manfaat ion yang dihasilkan juga memiliki sifat-sifat yang



alami di dalam tubuh. Kehadiran Mg pada komposit juga dapat mekanik polimer dan dengan adanya polimer dapat Jegradasi Mg. Selain untuk meningkatkan sifat mekanik Mg, eningkatkan sifat kekuatan mulur (creep) dan biokompatibilitas ani, 2020). Magnesium AZ31B artinya jenis megnesium yang minium 3%, zinc 1%, dan B adalah kode terdekat dari abjad al.

diluar sistem atau bukan secara langsung terhadap makhluk

hidup. Beberapa cara diantaranya dengan menggunakan hewan, sel manusia dan media SBF (*Simulated Body Fluid*). SBF telah banyak digunakan dalam pengaplikasian. Salah satunya, SBF telah digunakan secara luas untuk studi in-vitro bioaktifitas jaringan-jaringan keras buatan dari tubuh manusia (seperti tulang, gigi, enamel dan dentin) melalui pengujian kemampuan pembentukan apatit didalam fluida (Cziko, 2013). Dalam pengaplikasiannya tingkat korosif dari magnesium menjadi salah satu masalah karena melihat cairan dalam tubuh manusia yang kandungannya sangat variatif. Pada penelitian yang dilakukan ini menggunakan simulation body fluid (SBF) untuk mengetahui laju korosi pada magnesium ketika digunakan sebagai implan tulang, salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode weight loss dengan teknik rendam. Oleh karena itu, laju korosi sangat penting untuk diketahui pada magnesium yang berperan sebagai implan tulang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi dari variasi pengujian spesimen magnesium terhadap laju korosi yang terjadi. Dalam pengaplikasiannya tingkat korosif dari magnesium menjadi salah satu masalah karena melihat cairan dalam tubuh manusia yang kandungannya sangat variatif. Pada penelitian yang dilakukan ini menggunakan *simulated body fluid* (SBF) untuk mengetahui laju korosi pada magnesium dengan larutan NaCl. Ini dikarenakan NaCl adalah larutan asam yang banyak terdapat dalam tubuh sehingga penelitian ini dirancang se-nyata mungkin. Salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penambahan konsentrasi NaCl sebanyak 4 variasi ke *simulated body fluid* (SBF), lalu dengan metode rendam ditaruhlah magnesium ke dalam 4 rendaman SBF yang telah dicampur dengan NaCl dengan variasi yang berbeda-beda.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian ini adalah;

1. Bagaimana pengaruh kadar NaCl terhadap struktur mikro permukaan magnesium AZ31B setelah pengujian korosi ?
2. Bagaimana pengaruh laju korosi yang terjadi pada setiap variasi pengujian ?
3. Bagaimana pengaruh variasi kadar NaCl terhadap morfologi permukaan, pada kondisi terbentuk kurva polarisasi ?

## 1.3. Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh kadar NaCl terhadap struktur mikro permukaan magnesium AZ31B setelah pengujian korosi.
2. Menganalisis laju korosi yang terjadi pada setiap variasi pengujian.



engaruh variasi kadar NaCl terhadap morfologi permukaan, pada kurva polarisasi.

in ini adalah sebagai berikut.

memberikan manfaat bagi para mahasiswa sebagai literatur penelitian selanjutnya, dan masyarakat pada umumnya. Supaya

menjadi pertimbangan dalam pembuatan konstruksi, implant tulang, ataupun sebagai paduan dengan menggunakan jenis material Magnesium AZ31B

#### 1.4. Batasan Masalah

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat dicapai, perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Material yang digunakan adalah magnesium AZ31B dengan ketebalan 2 mm berbentuk persegi sesuai standar ASTM G31.
2. Fluida yang digunakan untuk pengujian korosi adalah *simulated body fluid* (SBF) dengan menggunakan wadah simulation body fluid yang berperan sebagai wadahnya.
3. Spesimen tanpa NaCl (1 spesimen), Penambahan NaCl 0,512 gram (1 minggu perendaman) dan (2 minggu perendaman), 0,68 gram (1 minggu perendaman) dan (2 minggu perendaman), 0,85 gram (1 minggu perendaman) dan (2 minggu perendaman) dan 1,02 gram (1 minggu perendaman) dan (2 minggu perendaman) pada wadah pengujian.
4. Variasi parameter setiap pengujian adalah lama waktu pengujian.
5. Metode yang digunakan dalam melihat karakteristik permukaan adalah dengan uji makrostruktur.
6. Metode yang digunakan dalam melihat pengujian korosi adalah dengan melihat terbentuknya kurva polarisasi pada spesimen dengan variasi di atas
7. pH pada larutan diujikan.

#### 1.5. Landasan Teori

##### 1.5.1 Definisi *Simulated Body Fluid* (SBF)

*Simulated body fluids* (SBF) adalah larutan dengan konsentrasi ion yang mendekati plasma darah manusia, disimpan di bawah kondisi pH tertentu dan suhu fisiologis yang identik dengan suhu tubuh. Kandungan ion karbonat dalam larutan SBF memiliki peranan penting untuk degradasi paduan magnesium. Dalam beberapa penelitian korosi yang menggunakan beberapa jenis larutan seperti Larutan NaCl, larutan Hank ataupun larutan SBF dapat disimpulkan bahwa laju korosi sangat ditentukan oleh larutan yang digunakan. Hal ini disebabkan karena perbedaan konsentrasi buffer dan kandungan ion karbonat dalam larutan. *Simulated Body Fluids* (SBF) adalah model larutan yang sangat disukai sebagai simulasi bagian inorganik dari plasma darah. Bisa dibilang SBF adalah perwujudan plasma darah yang adalah larutan yang mengandung variasi garam, gula, asam amino, dan mineral- mineral sepanjang sel darah. Bagian inorganik plasma darah mengandung konsentrasi ion berbeda seperti sodium, kalsium, magnesium, dan

sifat metastabil karena derajat supersaturasi ke apatit tidak melampaui energi aktivasi inti apatit (Takadama and Kokubo, SBF dalam 1000 ml (1 liter) tercantum pada tabel 2.1 sebagai



Tabel 1. Komposisi ion-ion SBF dalam 1000 ml. (Fatima Nisar,2018)

Order	Reagent	SBF in 1000ml	1.5 SBF in 1000ml
1	Ultrapure water		
2	NaCl	7.996 g	11.994 g
3	NaHCO <sub>3</sub>	0.350 g	0.525 g
4	KCl	0.224 g	0.336 g
5	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O	0.228 g	0.342 g
6	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.305 g	0.458 g
7	1 kmol/m <sup>3</sup> HCl	40 cm <sup>3</sup>	60 cm <sup>3</sup>
8	CaCl <sub>2</sub>	0.278 g	0.417 g
9	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.071 g	0.107 g
10	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub> CNH <sub>2</sub>	6.057 g	9.86 g

Kemampuan pengikatan tulang suatu bahan sering kali dievaluasi dengan memeriksa kemampuan apatit untuk terbentuk pada permukaannya dalam simulasi cairan tubuh (SBF) dengan konsentrasi ion yang hampir sama dengan plasma darah manusia. Namun, validitas metode untuk mengevaluasi kemampuan ikatan tulang ini belum dinilai secara sistematis. Di sini, korelasi kemampuan apatit untuk terbentuk pada berbagai bahan di SBF dengan bioaktivitas tulang, dan beberapa contoh pengembangan bahan bioaktif baru berdasarkan pembentukan apatit di SBF diulas. Disimpulkan bahwa pemeriksaan pembentukan apatit pada suatu bahan di SBF berguna untuk memprediksi bioaktivitas tulang in vivo suatu bahan, dan jumlah hewan yang digunakan serta durasi percobaan pada hewan dapat sangat dikurangi dengan menggunakan metode ini.



Gambar 1. Larutan SBF ( MaxLab Tokopedia, 2022 )



*Simulated Body Fluid* (SBF) adalah larutan yang mengandung sisinya kurang lebih sama dengan cairan tubuh manusia, merupakan model larutan yang sangat baik sebagai simulasi i plasma darah. SBF dapat digunakan sebagai media untuk pertumbuhan kristal hidroksiapatit dalam uji coba in vitro.

adalah pengujian yang tidak membutuhkan organisme hidup dan hewan percobaan untuk dilakukan pengamatan. Akibatnya,

pengembangan pengobatan baru dilakukan lebih cepat. Peneliti juga dapat mempelajari sedetail mungkin mengenai perkembangan obat/ material sebelum diterapkan kepada manusia. Hal ini berarti kemunculan potensi efek negatif dari obat ke dalam tubuh manusia yang menjadi objek percobaan dapat dihindari. Sisi negatifnya, uji in vitro tidak dapat dilakukan dengan kondisi asli dalam organisme hidup sesungguhnya. Ini karena hasil ujinya tidak benar-benar menunjukkan efek terhadap makhluk hidup. Akibatnya, hasil penelitian in vitro perlu diterapkan dengan hati-hati ke makhluk hidup. Peneliti perlu mengamati efek produk ke organisme aslinya (Artikel Kompas oleh Erwina Rachmi Puspapertiwi, Rizal Setyo Nugroho, 2023).

Sedangkan Uji in vivo adalah pengujian yang harus membutuhkan organisme hidup seperti tumbuhan dan hewan percobaan untuk dilakukan pengamatan. Uji in vivo dilakukan untuk melihat reaksi tubuh organisme hidup secara keseluruhan dalam merespons suatu zat dalam produk tertentu. Segi positifnya, in vivo akan menghasilkan informasi tentang efek zat atau perkembangan penyakit sesuai dengan kondisi organisme hidup. Ini membuat keamanan produk medis lebih terjamin. Sayangnya, studi in vivo berpotensi menghasilkan kegagalan karena pengaruh proses metabolisme tubuh. Obat yang bekerja saat pengujian di laboratorium ternyata tidak berefek di tubuh manusia. Meski begitu, uji in vivo biasanya tetap dilakukan ke hewan seperti tikus percobaan. Jika calon produk kelihatan aman dan efektif bekerja dalam penelitian in vitro dan hewan, peneliti akan menerapkannya pada manusia lewat uji klinis. Jika hasil dari kedua proses uji tersebut aman dan efektif, produk baru bisa diproduksi secara massal untuk publik (Artikel Kompas oleh Erwina Rachmi Puspapertiwi, Rizal Setyo Nugroho, 2023).

### 1.5.2 Definisi Magnesium AZ31B

Magnesium (Mg) dan paduannya telah mendapatkan perhatian khusus dari para peneliti biomaterial dunia karena potensi aplikasinya pada berbagai bidang industri modern, termasuk bidang kedokteran tulang (orthopedic). Para peneliti material maju di dunia memberikan preferensi kepada Mg dan paduannya karena memiliki sifat kimia-fisik dan mekanik mendekati tulang manusia, berdensitas rendah, dan biokompatibel. Contoh, modulus elastisitas Mg adalah 40-50 GPa, mendekati modulus elastisitas tulang manusia 10-40 GPa (Kim, 2003). Magnesium juga merupakan elemen yang penting dan diperlukan untuk proses metabolisme tubuh manusia, dan standar makanan bergizi adalah memiliki kandungan unsur magnesium sekitar 300-400 mg (Gu et al., 2009). Namun magnesium dan paduannya juga memiliki kekurangan, diantaranya adalah sifat elastisitasnya rendah dan laju korosi tinggi.





Gambar 2. Magnesium AZ31B ( Serbaada Tokopedia, 2022 )

Dalam proses degradasi ini magnesium diubah menjadi  $Mg^{2+}$  yang mudah diserap sistem di dalam tubuh manusia. Meskipun demikian, proses degradasi magnesium juga memiliki efek negatif karena menghasilkan gelembung hidrogen (hydrogen bubble) yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Rimondini et al., 2005). Konsep aplikasi baut tulang mampu luruh adalah kecocokan antara kecepatan korosi baut tulang dan proses penyembuhan fraktur tulang. Dimana, pada saat proses penyambungan fraktur tulang telah sempurna, maka di saat bersamaan baut tulang telah terdegradasi penuh, sehingga tidak diperlukan proses operasi kedua untuk pengangkatan baut tulang. Untuk mengurangi kelemahan aplikasi magnesium, para pakar material dunia berusaha mencari berbagai jenis komposit yang optimum untuk meningkatkan kekuatan tarik, elastisitas bahan, dan perbaikan sifat mekanik lain, misalnya dengan penambahan unsur paduan, seperti: Aluminium (Al), Perak (Ag), Silikon (Si), Timah (Sn), Seng (Zn), dan Zirkonium (Zr) (Denkena et al., 2011). Selain itu, untuk mengurangi laju korosi magnesium yang tinggi, ada beberapa unsur paduan yang umum ditambahkan, seperti: Cadmium (Cd), manganase (Mn), dan Calsium (Ca).

Berikut adalah pengaruh unsur paduan utama terhadap sifat logam magnesium: Aluminium (Al) meningkatkan mampu cor dan elastisitas paduan; Manganase (Mn) meningkatkan sifat ulet; Kalsium (Ca) untuk penguatan presipitasi dan peningkatan mampu mulur; dan Lithium (Li) adalah satu satunya unsur yang dapat mengubah struktur kristal magnesium dari heksagonal tumpukan-padat (HCP) menjadi kubus pusat muka (BCC) dipaduan magnesium. (Luo, 2013)

Paduan magnesium yang digunakan untuk penelitian ini adalah Magnesium AZ31B. Paduan ini merupakan yang banyak digunakan untuk aplikasi biomedis karena kandungan aluminium yang lebih sedikit namun sifat mekanik dan korosinya baik dan sangat memungkinkan untuk produksi implan di dalam tulang manusia (Azzahra, 2021). Komposisi kimia magnesium AZ31B dapat dilihat pada tabel 2

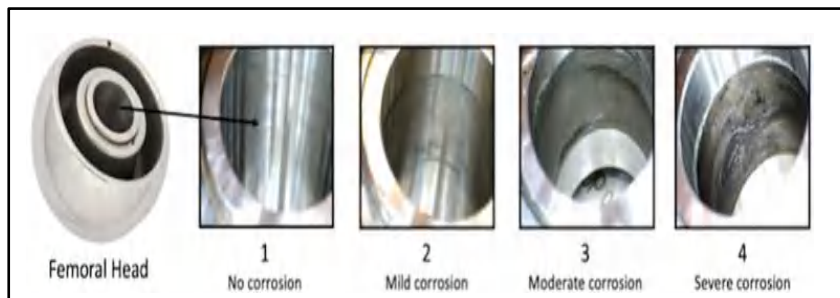
isi kimia magnesium AZ31B. (Pradana Wilis, Elvandho, 2020).

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Ni	Mg
	3.08	0.76	0.15	0.005	0,01	0,002	Bal



### 1.5.3 Korosi

Korosi adalah proses degradasi / deteorisasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya. Korosi di definisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Peristiwa korosi sendiri merupakan proses elektrokimia, yaitu proses (perubahan / reaksi kimia) yang melibatkan adanya aliran listrik. Bagian tertentu dari logam berlaku sebagai kutub negatif (elektroda negatif, anoda), sementara bagian yang lain sebagai kutub positif (elektroda positif, katoda). Elektron mengalir dari anoda ke katoda, sehingga terjadilah peristiwa korosi. (Trethewey, 1991).



Gambar 3. Bagian kepala material implan pada pinggul ( Harry Hothi,2021 )



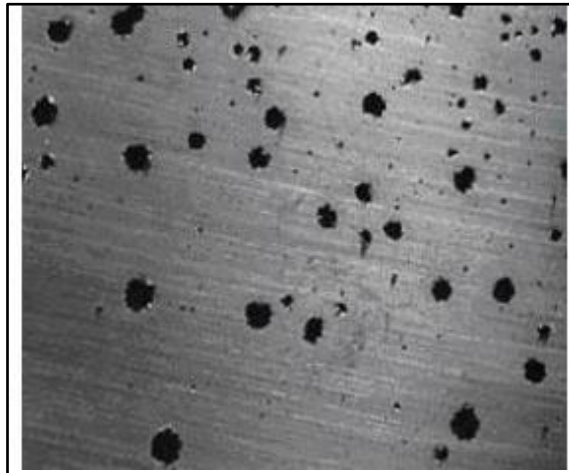
Gambar 4. Bentuk material implan pada pinggul ( Harry Hothi,2021 )

Korosi dapat terjadi apabila terdapat empat elemen yaitu yang pertama Anoda dimana terjadi reaksi oksidasi, maka daerah tersebut akan timbul korosi. Yang kedua yaitu katoda dimana terjadi reaksi reduksi, daerah tersebut akan mengalami reduksi. Yang ketiga yaitu Ada hubungan (Metallic Pathway), alir dari katoda ke anoda .Yang keempat yaitu Larutan korosif yang dapat mengalirkan arus listrik, mengandung ion- t terjadi, keempat elemen tersebut harus ada. Jika salah satu itu tidak ada, maka korosi tidak akan terjadi (Afandi Yudharif Arief, dan Amiadji,2015).



### 1.5.3.1 Jenis-jenis korosi

#### 1. *Pitting corrosion* (korosi sumur)



Gambar 5. *Pitting corrosion* ( Budi Utomo,2009 )

Adalah korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen yang dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memilih bahan yang homogen, memberikan inhibitor dan memberikan coating dari zat agresif.

#### 2. *Uniform corrosion* (korosi seragam)



Gambar 6. *Uniform corrosion* ( Budi Utomo,2009 )



ang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin i terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen. Korosi dengan cara Diberi lapis lindung yang mengandung inhibitor

### 3. *Errosion Corrosion* (korosi erosi)



Gambar 7. *Errosion corrosion* ( Budi Utomo,2009 )

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar, bagian – bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memilih bahan yang homogen,memiberi coating dari zat agresif,memberikan inhibitor dan menghindari aliran fluida yang terlalu deras.

### 4. *Galvanis corrosion* (korosi galvanis)



Gambar 8. *Galvanic corrosion* ( Budi Utomo,2009 )



erjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu jam yang lebih anodic akan terkorosi. Korosi ini dapat dicegah eri isolator yang cukup tebal hingga tidak ada aliran proteksi katodik dan menambahkan anti korosi inhibitor pada

### 5. *Stress corrosion* (korosi tegangan)



Gambar 9. *Stress corrosion* ( Budi Utomo,2009 )

Terjadi karena butiran logam yang berubah bentuk yang diakibatkan karena logam mengalami perlakuan khusus (seperti diregang, ditekuk dll.) sehingga butiran menjadi tegang dan butiran ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memberi inhibitor dan apabila ada logam yang mengalami streses maka logam harus direlaksasi.

### 6. *Crevice corrosion* (korosi celah)



Gambar 10. *Crevice corrosion* ( Budi Utomo,2009 )

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi disbanding pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih mulut jadi katodik Korosi ini dapat dicegah dengan cara , mengeringkan bagian yang basah dan membersihkan



## 7. Korosi mikrobiologi



Gambar 11. Korosi Mikrobiologi ( Budi Utomo,2009 )

Korosi yang terjadi diatas karena mikroba Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan protozoa. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Pengaruh inisiasi atau laju korosi di suatu area, mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film tipis atau biofilm. Pembentukan lapisan tipis saat 2 – 4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini terlihat hanya bintik-bintik dibandingkan menyeluruh di permukaan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memilih logam yang tepat untuk suatu lingkungan dengan kondisi kondisinya, memberi lapisan pelindung agar lapisan logam terlindung dari lingkungannya, Memperbaiki lingkungan supaya tidak korosif. Perlindungan secara elektrokimia dengan anoda korban atau arus tandingan, dan Memperbaiki konstruksi agar tidak menyimpan air, lumpur dan zat korosif lainnya.

## 8. *Fatigue corrosion* ( korosi lelah )



Gambar 12. *Fatigue Corrosion* ( Budi Utomo,2009 )

jadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus menerus. Semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi korosi. Proses ini biasanya terjadi pada turbin uap, pengeboran minyak



dan propeller kapal. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara ;Mengggunakan inhibitor, Memilih bahan yang tepat atau memilih bahan yang kuat korosi, dan Memilih bahan yang tepat atau memilih bahan yang kuat korosi.

#### 1.5.4 Pengaruh Laju Korosi Material Magnesium Pada Larutan SBF

Penelitian-penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa kandungan ion karbonat dalam larutan SBF memiliki peranan penting untuk degradasi paduan magnesium. Dalam beberapa penelitian korosi yang menggunakan beberapa jenis larutan seperti Larutan NaCl, larutan Hank ataupun larutan SBF dapat disimpulkan bahwa laju korosi sangat ditentukan oleh larutan yang digunakan. Hal ini disebabkan karena perbedaan konsentrasi buffer dan kandungan ion karbonat dalam larutan. Perlu diingat, *simulated body fluids* (SBF) adalah larutan dengan konsentrasi ion yang mendekati plasma darah manusia, disimpan di bawah kondisi pH tertentu dan suhu fisiologis yang identik dengan suhu tubuh (Kokubo, Tadashi. Takadama, Hiroaki. (2008).

Tabel 3 Konsentrasi Ion *Simulated Body fluids* dan plasma darah Manusia (Kokubo, Tadashi. Takadama, Hiroaki. (2008)).

	Ion Konsentration [mmol]							
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Plasma Darah	142,0	5,0	1,5	2,5	103,0	27,0	1,0	0,5
SBF	142,0	5,0	1,5	2,5	147,8	4,2	1,0	0,5

Selain itu buffer yang digunakan untuk elektrolit dapat memiliki efek yang signifikan pada laju korosi magnesium. Buffer TRIS (tris-hydroxymethyl-aminomethane) pada larutan SBF dapat mempercepat laju korosi pada paduan magnesium. Beberapa buffer yang biasa digunakan untuk simulasi cairan tubuh seperti TRIS, HEPES, Phosphate buffers, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> /CO<sub>2</sub> tidak hanya dapat menyebabkan interaksi kimia dengan permukaan paduan magnesium, namun juga sifat penyangga yang tidak identik.

Lapisan yang terbentuk pada paduan magnesium dalam larutan SBF didiskripsikan sebagai amorf, hidrat, karbonat-pospat (Ca,Mg) berdasarkan XRD, EDX dan karakterisasi FT-IR. Sifat kurang protektif dari lapisan permukaan yang dibentuk di larutan SBF hanya dibentuk di satu sisi karena porositas yang tinggi pada lapisan ini. Adanya porositas menyebabkan adanya jalur larutan masuk sehingga mempermudah menghancurkan logam.



#### Yang Mempengaruhi Terjadinya Korosi

terjadinya korosi tidak terlepas dari berbagai aspek, salah satunya adalah lingkungan yang mendukung. Salah satu syarat terjadinya korosi, dan didalam lingkungan ada yang memiliki pengaruh kuat terhadap terjadinya korosi adalah

pengaruh suhu di lingkungan, pengaruh NaCl, pH larutan (Glaeser,W, 2003).

### 1.5.5.1 Pengaruh Suhu di lingkungan

Suhu yang tinggi menyebabkan peningkatan laju reaksi, artinya semakin tinggi suhu di lingkungan, semakin cepat proses reaksi kimia atau elektrokimia yang menyebabkan korosi berlangsung. Pada suhu tinggi, energi kinetik partikel meningkat → lebih banyak molekul yang memiliki energi cukup untuk melewati ambang aktivasi.

Akibatnya, frekuensi tumbukan efektif antara ion, elektron, dan molekul oksigen/air bertambah → dan reaksi korosi berlangsung lebih cepat. Selain itu mempercepat reaksi elektrokimia :

- Reaksi anodik ( $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ ) berlangsung lebih cepat.
- Reaksi katodik ( $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$ ) juga dipercepat.

Hasilnya, produk korosi (karat) terbentuk lebih cepat pada suhu tinggi. Contoh dari pengaruh suhu di lingkungan terhadap korosi adalah knalpot motor yang cepat berkarat akibat suhu tinggi.

### 1.5.5.2 Kelembapan Udara di lingkungan

Udara lembap mengandung uap air yang dapat mengembun di permukaan logam. Air yang menempel berfungsi sebagai elektrolit, yaitu medium penghantar ion. Ion-ion dari lingkungan (misalnya klorida dari garam, sulfat dari polusi) larut dalam lapisan tipis air ini, sehingga mempercepat reaksi elektrokimia. Dan juga uap air atau embun di permukaan logam juga mengandung oksigen terlarut. Oksigen ini menjadi akseptor elektron dalam reaksi katodik, sehingga mempercepat pembentukan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Kombinasi oksigen + air = kondisi ideal untuk reaksi korosi.

### 1.5.5.3 Pengaruh NaCl

Telah diketahui bahwa keberadaan NaCl dalam media korosif menyebabkan kekuatan kelelahan korosi menurun secara drastis. Tingkat kelelahan korosi memiliki tingkat maksimum ketika konsentrasi NaCl adalah sekitar 3 – 4 % berat (Jonsson,S,1995). Maksimum ini di yakini disebabkan oleh kombinasi efek yang dimiliki jumlah NaCl dalam listrik. konduktivitas dan pada kelarutan oksigen, yang bertentangan. Ketika jumlah garam meningkat, konduktivitas listrik meningkat dan kelarutan oksigen berkurang. Bentuk kurva adalah hasil dari dua efek yang bekerja bersama dalam intensitas yang berbeda tergantung pada konsentrasi garam.

Rollins (Rollins,v.1967) mempelajari pengaruh konsentrasi NaCl dalam inisiasi retak dan perambatan retak secara terpisah untuk baja. Dapat diamati bahwa jumlah siklus kelelahan untuk memulai penurunan retak karena



meningkat dari 0 menjadi 4% berat, memiliki minimum pada 4% dan meningkat untuk konsentrasi NaCl yang lebih tinggi. Di sisi lain, retak tampaknya tidak tergantung pada keparahan larutan (maksimum pada 4% berat NaCl), jika tidak kurva akan diharapkan mirip dengan inisiasi. Konduktivitas tinggi pada konsentrasi NaCl memungkinkan retak untuk tumbuh lebih dalam dengan aksi sel elektrolisis. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi ion klorida pada ujung retak meningkatkan

perambatan retak

#### 1.5.5.4 Kontrak anoda dan katoda

Kontak antara anoda dan katoda pada permukaan logam menyebabkan korosi karena terbentuknya sel elektrokimia kecil (mikrosel) di permukaan logam. Pada logam nyata, ada bagian yang lebih aktif (mudah teroksidasi) bertindak sebagai anoda, dan bagian yang lebih pasif bertindak sebagai katoda.

- **Anoda: tempat oksidasi**

Atom logam melepaskan elektron:  $[ Fe^{2e+} + 2e^- ]$

- **Katoda: tempat reduksi**

Elektron yang dilepas anoda mengalir ke bagian katoda, lalu bereaksi dengan oksigen dan air:  $[ O^{2e+} + 4e^- ]$

#### 1.5.6 Kekasaran Permukaan Pada Material

Salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betul-betul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi terus berusaha membuat peralatan yang mampu membentuk permukaan komponen dengan tingkat kehalusan yang cukup tinggi menurut standar ukuran yang berlaku dalam metrologi yang dikemukakan oleh para ahli pengukuran geometris benda melalui pengalaman penelitian. Tingkat kehalusan suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin yang mana harus digunakan untuk membuatnya serta berapa ongkos yang harus dikeluarkan. Agar proses pembuatannya tidak terjadi penyimpangan yang berarti maka karakteristik permukaan ini harus dapat dipahami oleh perencana lebih-lebih lagi oleh operator. Komunikasi karakteristik permukaan biasanya dilakukan dalam gambar teknik. Akan tetapi untuk menjelaskan secara sempurna mengenai karakteristik suatu permukaan nampaknya sulit. Untuk pembahasan selanjutnya mengenai kekasaran permukaan maka terlebih dahulu perlu dibicarakan mengenai batasan dan beberapa parameter penting yang ada kaitannya dengan kekasaran/kehalusan permukaan yang hingga saat ini masih banyak dipakai dalam praktek. Beberapa peralatan yang bisa digunakan untuk memeriksa kehalusan permukaan ini juga akan disinggung batasan Permukaan dan Parameter-parameternya.

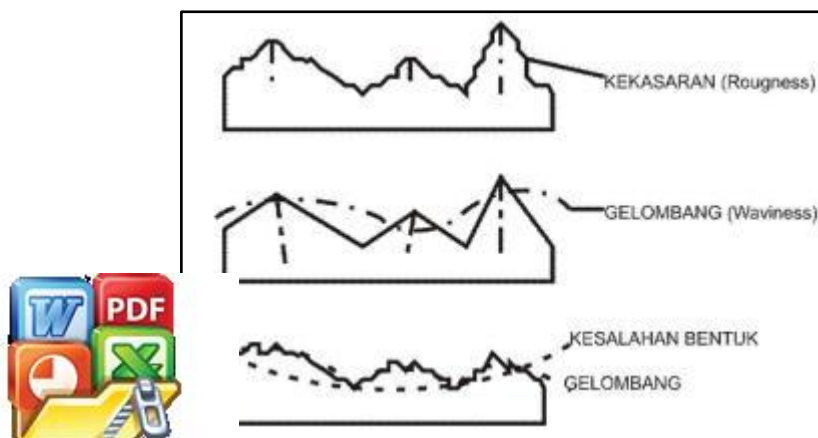
Menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Dalam prakteknya, bahan yang ada kebanyakan dari besi atau logam. Oleh karena itu, benda-benda lainnya terbuat dari tanah, batu, kayu dan karet tidak akan pembicaraan mengenai karakteristik permukaan dan kadang-kadang ada pula istilah lain yang berkaitan dengan profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu



penampang permukaan. Untuk mengukur dan menganalisis suatu permukaan dalam tiga dimensi adalah sulit. Oleh karena itu, untuk mempermudah pengukuran maka penampang permukaan perlu dipotong. Cara pemotongan biasanya ada empat cara yaitu pemotongan normal, serong, singgung dan pemotongan singgung dengan jarak kedalaman yang sama. Garis hasil pemotongan inilah yang disebut dengan istilah profil, dalam kaitannya dengan permukaan. Suatu kekasaran permukaan akan memberikan kesan dan perasaan bila kita menyentuh/memegang suatu benda. Dalam kegiatan produksi, karakteristik permukaan adalah penting bagi insinyur untuk memahami teknologi apa yang pantas dan cocok untuk memperoleh kekasaran yang diharapkan tersebut. Secara komersial kekasaran permukaan dibutuhkan dan didasari pertimbangan tersendiri sesuai penerapan produk itu sendiri. Pertimbangan pertimbangan yang menyangkut kekasaran permukaan antara lain;

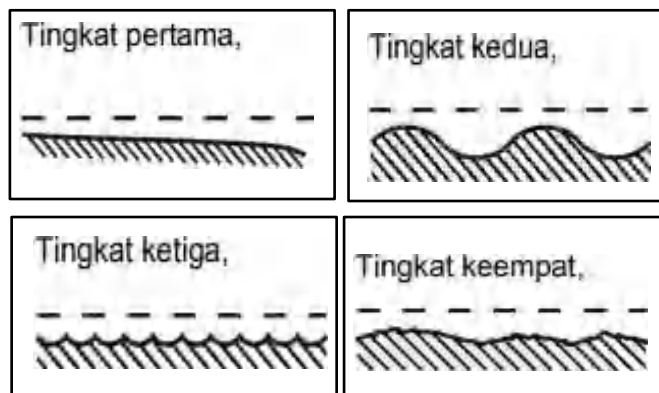
1. Alasan estitika: Permukaan itu halus dan bebas goresan dan memungkinkan memberi suatu kesan baik kepada pelanggan.
2. Permukaan mempengaruhi keselamatan.
3. Gesekan dan tahanan pakai tergantung pada karakteristik permukaan.
4. Permukaan mempengaruhi sifat mekanik dan sifat fisis; contoh, permukaan yang kasar menjadikan titik konsentrasi tegangan.
5. Perakitan bagian-bagian permukaan mengikat sambungan (suaian sesak)
6. Memperbaiki kontak elektrik permukaan.

Permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pisau (pahat) potong atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (feed) pisau potong dalam proses pembuatannya. Sedangkan permukaan yang bergelombang mempunyai bentuk gelombang yang lebih panjang dan tidak teratur yang dapat terjadi karena beberapa faktor misalnya posisi senter yang tidak tepat, adanya gerakan tidak lurus (non linier) dari pemakanan (feed), getaran mesin, tidak imbangnya (balance) batu gerinda, perlakuan panas (heat treatment) yang kurang baik, dan sebagainya. Dari kekasaran (roughness) dan gelombang (waviness) inilah kemudian timbul kesalahan bentuk.



Secara lebih rinci lagi, ketidakrataan dari bentuk permukaan dapat dibedakan menjadi empat tingkat, yaitu :

- a. Tingkat Pertama adalah tingkat yang menunjukkan adanya kesalahan bentuk (form error) seperti tampak pada gambar disamping. Faktor penyebabnya antara lain karena lenturan dari mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan pada pencekaman benda kerja, pengaruh proses pengerasan (hardening).
- b. Tingkat Kedua adalah adalah profil permukaan yang berbentuk gelombang. Penyebabnya antara lain karena adanya kesalahan bentuk pada pisau (pahat) potong, posisi senter yang kurang tepat, adanya getaran pada waktu proses pemotongan.
- c. Tingkat Ketiga adalah adalah profil permukaan yang berbentuk alur (grooves). Penyebabnya antara lain karena adanya bekas-bekas proses pemotongan akibat bentuk pisau potong yang salah atau gerak pemakanan yang kurang tepat (feed).
- d. Tingkat Keempat adalah adalah profil permukaan yang berbentuk serpihan (flakes). Penyebabnya antara lain karena adanya tatal (beram) pada proses pengerjaan, pengaruh proses electroplating.



Gambar 14. Tingkat ketidakakuratan dari permukaan ( UNY, 2018 )

### 1.5.7 Biomaterial

Biomaterial umumnya digunakan sebagai material yang kontak langsung dengan sistem biologi seperti implant, alat Kesehatan, dll. Implant biomaterial berupa penggantian sendi, pelat tulang, lensa tulang, ligamen dan tendon buatan. Serta implan gigi untuk fiksasi gigi, prostesis pembuluh darah, katup jantung, alat perbaikan kulit, pengganti koklea, lensa kontak, implan payudara, saluran syaraf, jahitan bedah, klip, dan staples untuk penutupan luka, pin dan sekrup untuk stabilisasi patah tulang intraocular untuk operasi mata. Biomaterial untuk kebutuhan implantasi (implantable biomaterials) sudah sejak lama digunakan sejak



2000) tahun yang lalu, dimana bangsa- bangsa Mesir dan China dan Afrika, serta Aztec di dataran Amerika, telah memiliki gan menggunakan emas untuk perawatan gigi. Logam untuk mengalami perkembangan sejak penemuan baja tahan karat tahun 1920an dan pembentukan komite F04 dari ASTM (Testing and Materials) tahun 1962 ( Irza Sukmana, 2022 ).

Biomaterial adalah material yang mengalami kontak langsung dengan sistem biologis pada makhluk hidup, material tersebut diharuskan memiliki beberapa persyaratan, antara lain tidak menimbulkan pengaruh buruk pada tubuh, memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki kekuatan yang baik terutama kekuatan mekanik dan ketangguhan. Biomaterial dalam aplikasinya digunakan untuk menggantikan atau mengembalikan fungsi dari komponen tulang yang mengalami kegagalan/kerusakan. Salah satu teknologi biomaterial yang digunakan dalam aplikasi medis adalah plat penyambung tulang (boneplate fixed). Material implan yang telah banyak digunakan adalah jenis logam baja tahan karat (stainless steel) merupakan jenis logam baja yang sering digunakan di bedah ortopedik. Bisa dilihat pada Gambar 2.11 merupakan salah satu penerapan implant biomaterial pada tulang paha atas.



Gambar 15. Penerapan implant biomaterial pada tulang paha atas (Jati. Dwi Cahyo Nugroho dan Azizah. M. Nasrul, 2019)

### 1.5.8 Reaksi Oksidasi Magnesium saat diberikan NaCl

Magnesium (Mg) cenderung teroksidasi ketika berada di lingkungan yang mengandung air dan ion klorida (NaCl). Artinya, atom Mg melepaskan elektron dan berubah menjadi ion  $Mg^{2+}$ , proses ini disebut oksidasi dan sering terlihat sebagai korosi pada permukaan magnesium.

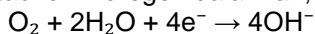
Mekanisme oksidasi pada air garam

- Anoda (tempat oksidasi): Magnesium melepaskan elektron dan larut sebagai ion:  

$$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$$

Ini adalah reaksi oksidasi utama yang membuat logam “hilang” dari permukaan.

- Katoda (tempat reduksi): Elektron yang dilepas biasanya digunakan untuk mereduksi oksigen terlarut atau ion hidrogen dalam air, misalnya:



atau pada kondisi asam:  $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2(g)$ .

Proses anoda dan katoda ini bersama-sama menyebabkan korosi magnesium di air



#### oksidasi ( $Cl^{-}$ ) dan NaCl

mempercepat korosi dengan dua cara penting: akan oksida pelindung tipis pada permukaan Mg sehingga menjadi rapuh atau terlarut, dan membentuk kompleks atau garam yang mudah larut (mis.  $MgCl_2$ ) sehingga ion tersebut terlarut ke dalam air. Karena itu, air laut atau

larutan NaCl mempercepat laju korosi dibandingkan air tawar.

### 1.5.8.2 Lapisan oksida dan perlindungan

Permukaan magnesium biasanya dilapisi lapisan oksida tipis ( $MgO$  atau  $Mg(OH)_2$ ) yang memperlambat reaksi. Jika lapisan ini utuh, korosi lambat. Namun ion  $Cl^-$  dapat menembus atau melarutkan lapisan ini, membuka area aktif di mana oksidasi Mg berlangsung lebih cepat.

Contoh reaksi keseluruhan (sederhana)

- Anoda:  $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$
- Katoda (oksigen terlarut):  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
- Hasil di permukaan:  $Mg^{2+} + 2OH^- \rightarrow Mg(OH)_2$  (endapan) atau  $Mg^{2+} + 2Cl^- \rightarrow MgCl_2$  (larut)

Penjelasan rinci tentang reaksi anoda/katoda dan variasi produk korosi dapat ditemukan dalam literatur korosi logam.

- Mg tidak menggantikan Na dalam NaCl; tidak ada reaksi  $Mg + NaCl \rightarrow MgCl_2 + Na$  pada kondisi biasa.
- Yang terjadi adalah korosi/oksidasi Mg menjadi  $Mg^{2+}$  yang dipercepat oleh ion klorida; hasilnya bisa berupa garam magnesium yang larut atau endapan oksida/hidroksida tergantung kondisi lingkungan

### 1.5.8.3 Efek Konsentrasi $Cl^-$ dan Komposisi Larutan

Semakin tinggi konsentrasi ion  $Cl^-$  dalam larutan (misal pada larutan NaCl 3,5% atau air laut), semakin agresif lingkungan terhadap magnesium. Pada konsentrasi  $Cl^-$  rendah, lapisan  $Mg(OH)_2$  masih dapat memberikan perlindungan parsial, namun pada konsentrasi tinggi, lapisan ini cepat rusak dan laju korosi meningkat tajam.

Selain  $Cl^-$ , keberadaan ion lain seperti  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ , dan  $PO_4^{3-}$  juga dapat mempengaruhi mekanisme korosi, namun efek  $Cl^-$  jauh lebih dominan dalam mempercepat kerusakan lapisan pasif. Keberadaan Air ( $H_2O$ ) Air berperan sebagai medium elektrolit yang memungkinkan pergerakan ion-ion dan berlangsungnya reaksi elektrokimia. Tanpa air, korosi magnesium tidak terjadi secara signifikan. Pada kelembaban tinggi atau permukaan yang basah, lapisan air tipis dapat bertindak sebagai elektrolit, mempercepat reaksi korosi.

Tabel 4. Pengaruh Konsentrasi  $Cl^-$  terhadap Laju Korosi Magnesium

Konsentrasi NaCl	Laju Korosi (mm/y)	Tipe Korosi
0,01 mol/L	Rendah	Pasivasi parsial
0,1 mol/L	Sedang	Pitting mulai muncul
0,5 mol/L	Tinggi	Pitting dominan
3,5% (0,6 M)	Sangat tinggi	Pitting, <i>filiform</i>

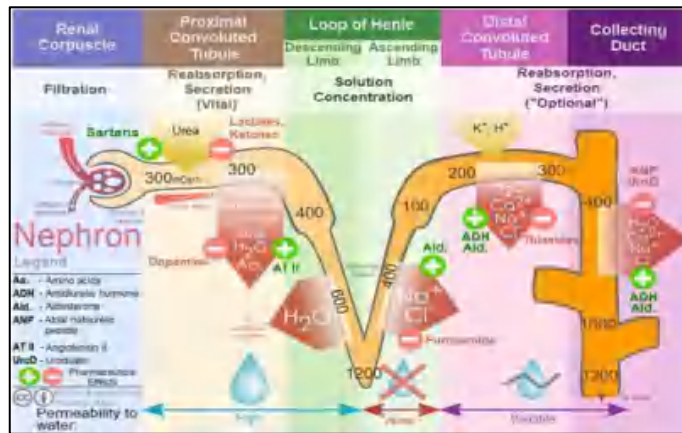


Cl 3,5% (setara air laut), korosi magnesium berlangsung dominasi pitting dan korosi *filiform*

### Tubuh Manusia

ngkatan dari natrium klorida yang merupakan senyawa garam senyawa lainnya seperti magnesium klorida, magnesium sulfat, lain lain. Natrium klorida ( $NaCl$ ) dibagi menjadi  $NaCl$  isotonik

dan hipertonik. Natrium klorida isotonik memiliki konsentrasi garam yang sama dengan cairan tubuh manusia. Dan salah satu cara memperoleh NaCl secara eksternal yaitu dengan mengomsumsi garam komsumsi.



Gambar 16. Diagram pembentukan urine di nefron ginjal (Wikipedia, 2010)

Dalam menjalankan peranannya, natrium berhubungan dengan kalium dan klorida didalam tubuh. Ion Na dan Cl merupakan elektrolit utama cairan ekstraseluler dan ion kalium pada cairan intraseluler dalam tubuh. Natrium klorida pada garam komsumsi berfungsi dalam sistem ekskresi, baik dalam keringat dan urine. Keringat dan urine berbau asam dikarenakan ada kandungan NaCl didalam tubuh. Selain itu, NaCl juga membantu kontraksi otot dan transmisi impuls saraf. Selain itu, natrium juga membantu mengatur tekanan dan volume darah. Mengkonsumsi natrium dalam jumlah yang sesuai dapat membantu mengatur keseimbangan cairan di dalam tubuh anda dan menjaga pH darah. Namun, terlalu banyak natrium di dalam darah dapat menyebabkan tekanan darah tinggi (hipertensi).

Pada penelitian ini juga dilampirkan hubungan tekanan darah manusia pada kadar NaCl untuk melihat berapa besar kadar NaCl di tubuh kita yang bisa dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Hubungan Tekanan Darah Manusia Pada Kadar NaCl (Angraini Puspita, Rusdi & Ermita, 2016 )

Tekanan Darah (mmHg)	Kategori	Kadar NaCl (mmol/L)	Batas NaCl di tubuh/ hari (mg)	Kapasitas Darah (L)
	Optimal	257,5	<2400	4,7
	Normal	258	2400	-



140/90	Hipertensi lv 1	258,5	>2400	5,5
160/100	Hipertensi lv 2	259	-/-	
180/110	Hipertensi lv 3	259,5	-/-	

Pada Tabel di atas adalah hubungan tekanan darah manusia pada kadar NaCl di tubuh. Bisa dilihat pada nomor 1 yaitu tekanan darah pada saat <120/80 dengan kategori optimal memiliki kadar NaCl sebesar 257,5 mmol/L (Sumber kadar NaCl dari Jurnal Anggraini Puspita, Rusdi & Ermita, 2016) dengan Jumlah batas NaCl di tubuh/ hari <2400 mg dengan kapasitas darah 4,7-5,5 liter (Sumber kapasitas darah dari Zenny Nurhandine Putri, 2016).

Lalu pada nomor 2 tekanan darah pada saat 130/85 dengan kategori normal memiliki kadar NaCl sebesar 258 mmol/L dengan jumlah batas NaCl di tubuh/ hari 2400 mg (Sumber jumlah batas NaCl di tubuh/ hari dari Kementerian kesehatan, 2016), dengan kapasitas darah 4,7-5,5 liter.

Lalu pada nomor 3 tekanan darah pada saat 140/90 dengan kategori hipertensi level 1 memiliki kadar NaCl sebesar 258,5 mmol/L dengan jumlah batas NaCl di tubuh/ hari >2400 mg dengan kapasitas darah 4,7-5,5 liter.

Lalu pada nomor 4 tekanan darah pada saat 160/100 dengan kategori hipertensi level 2 memiliki kadar NaCl sebesar 259 mmol/L dengan jumlah batas NaCl di tubuh/ hari >2400 mg dengan kapasitas darah 4,7-5,5 liter.

Lalu pada nomor 5 tekanan darah pada saat 180/110 dengan kategori hipertensi level 3 memiliki kadar NaCl sebesar 259,5 mmol/L dengan jumlah batas NaCl di tubuh/ hari >2400 mg dengan kapasitas darah 4,7-5,5 liter.

Dalam penelitian ini mengambil referensi tekanan darah beserta kategorinya karena material Magnesium AZ31B berpotensi berpengaruh pada tekanan darah jika semisal di-implankan di dalam tubuh manusia. Data dari tekanan darah beserta kategorinya didapatkan dari (kompasiana.com).

Juga mengambil referensi kadar NaCl dan batas NaCl di tubuh/ hari karena senyawa NaCl ingin dilihat pengaruhnya ketika diberikan ke larutan SBF sebagai perwujudan dari cairan tubuh asli manusia dan Magnesium AZ31B ditenggelamkan didalam apakah ada laju korosi dan kekasaran pada material ini. Ini berguna jika seandainya Magnesium AZ31B ter-implan dalam tubuh akan bertemu senyawa NaCl dan bisa jadi berpotensi mempengaruhi korosi dan kekasaran pada material ini. Penelitian ini juga mengambil referensi kapasitas darah sebagai keterangan



an darah manusia, adapun keterangan selanjutnya mengenai konsumsi NaCl yang bisa dilihat di bawah ini.

atan Menteri Kesehatan (Menkes) RI, Budi Gunadi Sadikin hipertensi di Indonesia sangat banyak, bahkan sampai disebut oleh masyarakat untuk rutin cek tekanan darah. 1 dari 3 orang dengan hipertensi, bahkan angka ini terus meningkat setiap tahunnya. Disebut sebagai silent killer karena orang dengan tekanan darah

tinggi tidak memiliki keluhan. Sebelum seseorang menderita hipertensi ada faktor risiko yang jadi penyebab hipertensi, antara lain, pola makan yang tidak sehat, biasanya pola makan dengan kandungan gula garam lemak yang melebihi batas normal setiap harinya.

Ketua Tim Kerja Penyakit Jantung dan Pembuluh Darah, Ditjen Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Kemenkes dr. Fatcha Nurliyah, MKM menjelaskan prevalensi hipertensi di Indonesia sangat besar yaitu sebesar 34,1% berdasarkan survei nasional di 2018. Banyaknya orang yang diperkirakan menderita hipertensi sekitar 70 juta lebih penduduk Indonesia (Kepala Biro Komunikasi dan Pelayanan Publik Kemenkes, 2023).

Oleh karena itu, berdasarkan data dari World Health Organization (WHO), menganjurkan membatasi konsumsi NaCl 2400 mg atau 1 sendok teh per hari.

2400 mg itu sama juga 2,4 gram. 2,4 gram adalah konsumsi garam (NaCl) normal dalam tubuh (Kementerian kesehatan, 2016).

Dari sumber yang didapatkan disimpulkan bahwa banyaknya NaCl berpengaruh pada normal atau hipertensi seseorang. Penelitian ini menggunakan 4 variasi, yaitu di atas 2,4 gram karena untuk melihat seberapa besar laju korosi pada material magnesium AZ31B jika seandainya di-implankan pada tubuh manusia dengan melebihi batas normal dari konsumsi garam (NaCl).

Dari tabel diatas, dapat dibuat perhitungan penambahan kadar Natrium Klorida/ garam/ NaCl dengan rumus perbandingan di bawah ini. Misalnya 1.) Perbandingan NaCl di tubuh (mg) : Kapasitas darah (L) lalu hasil dari perbandingan ini 2.) di kalikan dengan volume tabung potensiostat pengujian korosi CORRTEST CS350 yang terletak di laboratorium motor bakar sebesar 800 ml atau 0,8 liter.

Perhitungan penambahan kadar NaCl untuk penelitian ini adalah 3 gram, 4 gram, 5 gram, dan 6 gram dan dapat dilihat di Bab III Metode penelitian, B. Bahan, 3. NaCl.

#### 1.5.10 Cara Kerja Alat Corrosion Test



Gambar 17. Alat Corrosion Test (Alibaba, 2023)



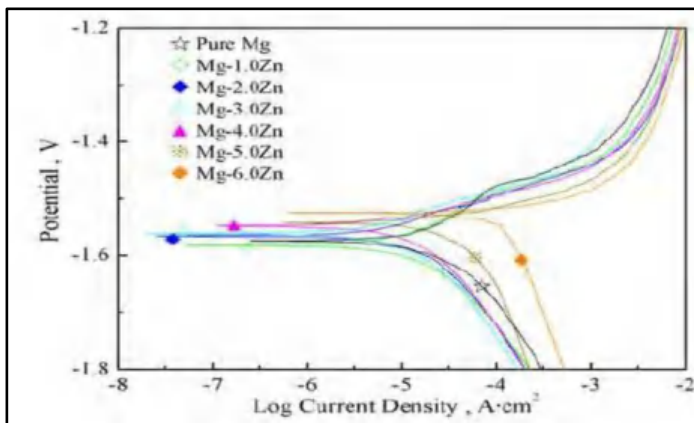
ungsi untuk menguji atau mengukur tingkat korosi portabel  
si yang menggunakan metode elektrokimia. Perhitungan laju

korosi bisa dilakukan dengan alat corrosion test seperti di atas. Dengan kinerja tinggi dalam stabilitas dan akurasi dengan perangkat keras canggih dan perangkat lunak yang berfungsi dengan baik, ini adalah platform penelitian komprehensif untuk korosi, baterai, analisis elektrokimia, sensor, ilmu hayati dan kimia lingkungan, dll. Pengujian polarisasi potensiodinamik ini menggunakan mesin Corrtest Electrochemical Instrument dan diolah dengan Software Corrtest yang menampilkan grafik nilai arus untuk setiap perubahan potensial, kemudian dinyatakan dalam bentuk kurva E/Log i. Dapat digunakan untuk area baterai, korosi, dan masih banyak lainnya. Ini mendukung mode bumi dan mengambang. Aplikasinya ;

- Untuk Mekanisme reaksi Elektrosintesis, pelapisan listrik, oksidasi anodik, dll.
- Analisis dan sensor elektrokimia.
- Studi korosi logam dalam air, beton dan tanah dll.
- Evaluasi Cepat inhibitor korosi, penstabil air, pelapisan dan efisiensi proteksi katodik.
- Material energi baru (baterai Li-ion, sel surya, sel bahan bakar, superkapasitor), material fungsional canggih, material
- Foto elektronik.

Untuk jenis corrosion test yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat di Bab III Metode penelitian, A. Alat, 5. Alat penguji korosi (corrosion test meter).

Contoh Kurva Corrosion Testing



Gambar 19. Kurva *Corrosion Testing* (ShaoXiang Zhang, 2009)

Diatas merupakan contoh kurva corrosion test. Bisa dilihat pada Gambar 19 tu kurva pengaruh kadar magnesium terhadap polarisasi E setelah proses termo mekanikal dengan pendinginan air.



## BAB II

### METODE PENELITIAN

#### 2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian secara eksperimental dimulai sejak bulan Juli 2025 sampai Oktober 2025. Lokasi dilaksanakannya di laboratorium Metalurgi Fisik, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Untuk pengujian pH meter dilaksanakan di laboratorium kimia FMIPA Unhas, dan pengujian SEM dilaksanakan di laboratorium mikrostruktur UMI Makassar.

#### 2.2 Alat dan Bahan Uji

Untuk benda uji dan alat yang digunakan pada penelitian eksperimen analisa korosi model magnesium AZ31B pada medium larutan SBF untuk aplikasi implan tulang sebagai berikut :

##### 2.2.1 Alat

1. Wadah *Simulated Body Fluid*

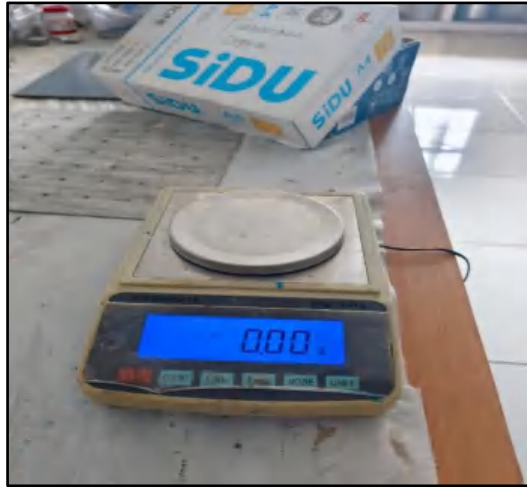


Gambar 20. Wadah *Simulated Body Fluid*

Wadah *simulated body fluid* digunakan sebagai wadah larutan SBF dan spesimen yang mana digunakan selama eksperimen berlangsung. Contoh wadah SBF dapat dilihat pada gambar 20 diatas.



## 2. Timbangan digital



Gambar 21. Timbangan digital

Timbangan digital pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui berat pengujian spesimen dari material uji Magnesium AZ31B dan berat kadar NaCl dalam bentuk (gram). Timbangan digital dapat dilihat pada gambar 21 diatas.

## 3. Alat Ukur ( Penggaris)



Gambar 22. Alat Ukur ( Penggaris)



da penelitian eksperimen ini digunakan untuk mengukur ren dan lebar spesimen pengujian. Sedangkan jangka sorong tuk mengukur ketebalan dimensi spesimen dari material AZ31B. Penggaris dan Jangka sorong dapat dilihat pada as.

#### 4. Gelas Ukur



Gambar 23. Gelas Ukur

Gelas Ukur sebagai wadah tempat untuk mengukur volume larutan *simulated body fluid* (SBF). Gelas ukur dapat dilihat di gambar sebelumnya. Gelas Ukur dapat dilihat pada gambar 23 diatas.

#### 5. Solder dan timah



Gambar 24. Solder dan timah

Solder dan timah digunakan dalam penelitian ini untuk menyambungkan specimen dengan tembaga untuk pengujian korosi. Solder dan timah dapat dilihat pada gambar 24 diatas.



## 6. Cetakan resin dan katalis



Gambar 25. Cetakan resin dan katalis

Cetakan resin dan katalis digunakan untuk merapatkan tembaga dan specimen yang sudah di solder. Cetakan resin dan katalis dapat dilihat pada gambar 25 diatas

## 7. Multimeter digital



Gambar 26. Multimeter digital

Multimeter digital digunakan untuk tes dioda dari specimen ke tembaga apa ng apa tidak. Jika sudah terhubung maka akan berbunyi atau dari 1. Multimeter digital dapat dilihat pada gambar 26 diatas



## 2.2.2 Bahan

### 1. Magnesium AZ31B



Gambar 27. Magnesium AZ31B

Bahan penelitian eksperimen penulis ini menggunakan material magnesium AZ31B dengan ketebalan 2 mm. Contoh material magnesium AZ31B yang didapatkan dari pasaran dapat dilihat pada gambar 28 diatas.

### 2. *Simulated Body Fluid* (SBF)



Gambar 28. Larutan SBF



*Fluid* atau SBF digunakan sebagai medium larutan untuk si yang terjadi terhadap berbagai variasi pengujian. *Simulated* dapat dilihat pada gambar 29 diatas.

### 3. Tembaga



Gambar 29. Tembaga

Tembaga digunakan dalam penelitian ini sebagai media konduktor dari spesimen pada pengujian korosi. Karena spesimennya berbentuk plat dan tidak panjang, maka tembaga hadir sebagai solusi untuk pengujian korosi. Tembaga dapat dilihat pada gambar 30 di atas.

### 4. Resin dan Katalis

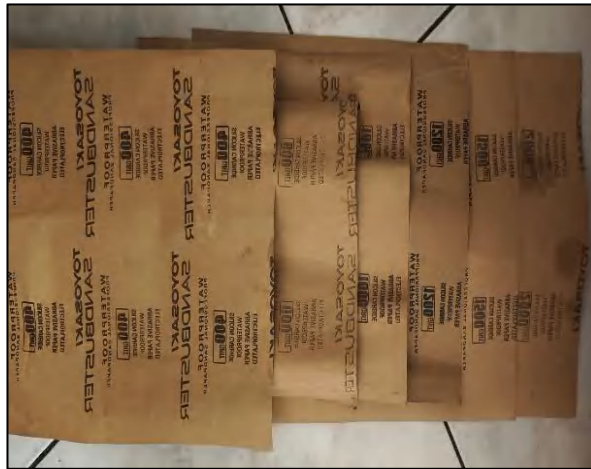


Gambar 30. Resin dan Katalis

dalam penelitian ini untuk membuat spesimen dan tembaga yang kuat, Perbandingan pemakaian resin dan katalis adalah 100 : 1, 100 ml resin membutuhkan 1 ml katalis. Resin dapat dilihat pada gambar 31 di atas



## 5. Amplas



Gambar 31. Amplas berbagai grit

Amplas digunakan dalam penelitian ini untuk menghaluskan sisa resin yang menutup specimen yang mau di ujikan. Amplas yang digunakan mulai dari Grit 180, 400, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000. Adapun fungsi dari masing masing grit :

- **Grit 180** — pengamplasan kasar. Digunakan untuk material removal cepat, meratakan permukaan yang sangat kasar, atau membentuk tepi. Jangan gunakan terlalu lama pada area tipis karena mudah meninggalkan bekas dalam.
- **Grit 400** — transisi ke halus. Setelah 180, pindah ke 400 untuk menghilangkan bekas gores besar dan menyiapkan permukaan untuk dempul atau primer. Ini mengurangi kedalaman gores sehingga lapisan berikutnya menempel lebih baik.
- **Grit 600** — persiapan finishing. Umumnya dipakai setelah dempul atau lapisan primer; misalnya menghaluskan permukaan sebelum aplikasi *clear coat* atau cat akhir. Goresan yang tersisa sudah sangat halus dan tidak terlihat oleh mata dari jarak normal.
- **Grit 800** — awal penghalusan material Pada pekerjaan otomotif atau finishing furnitur, grit 800 sering dipakai misalnya untuk *meratakan clear coat* basah sebelum pengamplasan basah lebih halus; hasilnya mulai menunjukkan kilau awal.
- **Grit 1000** — pengamplasan basah untuk perbaikan. Dipakai basah untuk menghilangkan bintik dan cacat kecil pada lapisan material. Setelah grit 1000, permukaan siap untuk proses pemolesan ringan.



shing menengah. Mengurangi goresan halus yang tersisa dari pakai sebelum compound polishing agar hasil akhir lebih cepat banyak compound.

nishing akhir. Digunakan basah sebagai langkah terakhir ind/polish akhir; 2000 menghasilkan permukaan yang sangat ir siap dipoles menjadi kilap tinggi logam, cat atau plastik

Amplas dapat dilihat pada gambar 34 diatas.

## 6. Natrium Klorida (NaCl)



Gambar 32. Larutan NaCl

NaCl sebagai kadar untuk melihat seberapa besar laju korosi dari magnesium AZ31B dalam larutan SBF. Kadar NaCl normal adalah 2400 mg/2,4 gram. Maka dari itu untuk melihat pengaruh kadar NaCl pada tubuh manusia, maka dinaikkan kadar NaCl dengan eksperimen pada penelitian ini.

Untuk pedoman penelitian penambahan kadar NaCl dapat dilihat di perhitungan bawah ini :

$$* \text{Kadar NaCl} = \frac{\text{Kadar NaCl (gram)}}{\text{Kapasitas darah minimal (liter)}}$$

= (Hasil)  $\frac{\text{gram}}{\text{liter}}$  lalu dikalikan dengan volume tabung 0,8 liter dan didapatkan hasil dari kadar NaCl dalam satuan (gram).

\*Penambahan Kadar NaCl normal dalam tubuh

$$\frac{2,4 \text{ gram}}{4,7 \text{ liter}}$$

$$* 2,4 \text{ gram} = 0,51 \text{ gram/liter} \text{ lalu dikalikan dengan } 4,7 \text{ liter}$$

$$0,8 \text{ liter, jadi } 0,51 \text{ gram/ liter} \times 0,8 \text{ liter} = 0,408 \text{ gram.}$$

Hasil perhitungan penambahan kadar NaCl yang disebut garam kasar untuk eksperimen ini dimulai berdasarkan volume tabung potensiostat pengujian korosi. Penelitian ini memakai 4 variasi dikarenakan agar dapat kadar NaCl pada kategori tekanan darah diatas normal. Cl dalam tubuh  $\leq 2400 \text{ mg/2,4 gram}$  per hari, maka untuk di atas normal di eksperimen ini, maka dimulai kadar NaCl dari 5 gram, dan 6 gram. Lalu penelitian eksperimen ini mengambil minimal 4,7 liter sebagai acuan standar pada kapasitas darah 4 variasi yang diteliti secara bertahap yaitu:



Tabel 6 Kadar NaCl untuk penelitian berdasarkan jumlah kadar yang dikonsumsi manusia normal untuk eksperimen

Kadar NaCl untuk eksperimen	Hasil (gr/l)	Dikali volume tabung	Hasil (gr)
$3 \text{ gram} = \frac{3 \text{ gram}}{4,7 \text{ liter}}$	$0,64 \text{ gr l}$	$0,64 \times 0,8 \text{ l}$	$0,512 \text{ gram}$
$4 \text{ gram} = \frac{4 \text{ gram}}{4,7 \text{ liter}}$	$0,85 \text{ gr l}$	$0,85 \times 0,8 \text{ l}$	$0,68 \text{ gram}$
$5 \text{ gram} = \frac{5 \text{ gram}}{4,7 \text{ liter}}$	$1,06 \text{ gr l}$	$1,06 \times 0,8 \text{ l}$	$0,85 \text{ gram}$
$6 \text{ gram} = \frac{6 \text{ gram}}{4,7 \text{ liter}}$	$1,276 \text{ gr l}$	$1,276 \times 0,8 \text{ l}$	$1,02 \text{ gram}$

Contoh Kadar NaCl yang didapatkan dari pasaran dapat dilihat pada gambar 32 diatas.

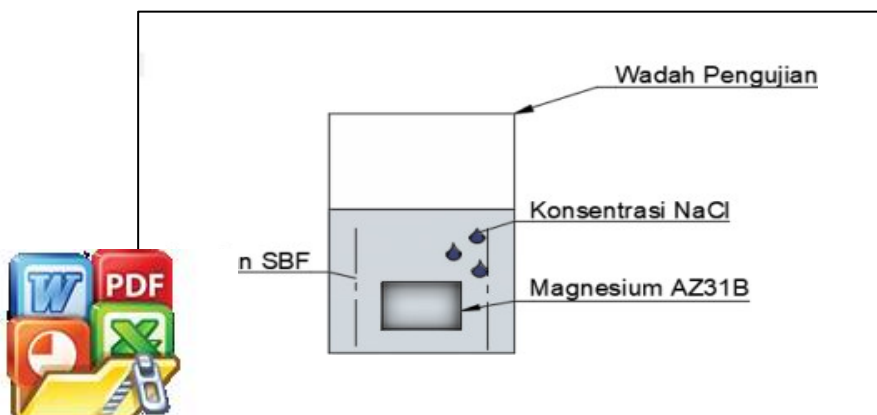
### 2.3 Benda Uji

Pengujian simulasi ini dilakukan untuk melihat perilaku degradasi yang terjadi pada setiap daerah simulasi yang dilakukan terhadap material uji, yang mana simulasi dilakukan dengan membedakan metode perendaman material terhadap medium SBF. Tujuan pembedaan metode ini agar setiap pengujian yang dilakukan menyerupai kondisi cairan yang ada pada setiap jenis tulang manusia, jenis pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

Metode Perendaman :

Adalah metode yang dilakukan dengan cara merendam spesimen uji kedalam larutan SBF yang mana pengujian ini mensimulasikan keadaan cairan di sekitar lingkungan tulang cortical (spongy bone). Simulasi metode perendaman yaitu Magnesium AZ31B direndam di dalam wadah yang berisi larutan SBF dengan variasi penambahan NaCl. Dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.

Gambar 33. Metode Perendaman



## 2.4 Teknik Analisis

Dalam menguji objek penelitian, ada 3 macam alat pengujian untuk mengetahui nilai korosi berdasarkan masing masing variasi kadar NaCl dan pengaruh variasi kadar NaCl terhadap morfologi permukaan. Thermocouple yang terpasang pada objek penelitian langsung terhubung pada komputer sehingga dapat diketahui nilai dari tiap variabelnya.

### 2.4.1 Jenis Pengujian

#### 1. Pengujian Korosi (*Corrosion Test Meter*)



Gambar 34. *Corrosion Test Meter*

Alat Penguji Korosi (*Corrosion Test Meter*) yang berfungsi untuk menguji atau mengukur tingkat korosi portabel pada logam atau besi yang menggunakan metode elektrokimia. Alat uji Korosi (*Corrosion Test Meter*) ada di laboratorium motor bakar Universitas Hasanuddin dengan volume tabung potensiostat 800 ml model CORRTTEST CS350 dapat dilihat pada gambar 34 diatas.

#### 2. Pengujian pH meter



Gambar 35. Digital pH meter



*Digital* pH meter berfungsi mengukur nilai pH dengan menggunakan elektroda yang mendeteksi potensial listrik pada permukaan larutan dan mengubahnya menjadi angka pH yang terbaca pada layar. Alat ini menggantikan metode indikator warna karena memberikan hasil kuantitatif dan lebih presisi. Pengaplikasian untuk titrasi, analisis sampel, dan eksperimen yang memerlukan pembacaan pH presisi.

### 3. Alat Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)



Gambar 35. SEM (JEOL JCM 6000+)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui struktur topografi (menganalisa permukaan dan tekstur) dan morfologi (bentuk dan ukuran dari benda sampel material) dengan pembesaran dari 500x-50.000x.

#### 2.4.2 Prosedur Penelitian

##### 2.3.2.1 Proses Perendaman

- 1.) Membuat spesimen sesuai dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 2 mm sebanyak 9 spesimen (sampel uji)
- 2.) Persiapan bahan dan peralatan yaitu wadah *simulated body fluid* sebanyak 2 buah, timbangan digital untuk mengukur NaCl (garam kasar), alat ukur penggaris dan jangka sorong) untuk ukur panjang dan tebal spesimen
- 3.) Gelas ukur untuk ukur volume *simulated body fluid*.
- 4.) Menaruh specimen, NaCl (garam kasar), dan larutan SBF masing masing 20 ml ke wadah dan direndam selama seminggu.



m, lalu melakukan peresinan ke 9 spesimen lalu 4 spesimen ali selama seminggu, sedangkan 5 spesimen tidak direndam

.aju Korosi

9 spesimen yang akan diuji

medium larutan yang berupa cairan SBF (*Simulated Body Fluid*)

- 3.) Memasukkan spesimen ke dalam larutan elektrolit lalu laju uji korosi
- 4.) Mencatat data hasil pengujian yang tersedia

#### 2.3.2.3 Pengujian pH meter

- 1.) Mempersiapkan timbangan digital untuk mengukur berat kadar NaCl (garam kasar) dengan berat 0,512 gram, 0,68 gram, 0,85 gram, 1,02 gram
- 2.) Mempersiapkan wadah juga medium larutan kadar NaCl yang berupa cairan SBF (*Simulated Body Fluid*)
- 3.) Menyiapkan digital pH meter
- 4.) Menyiapkan wadah juga aquades sebagai medium kalibrasi digital pH meter
- 5.) Mencatat data hasil pengujian yang tersedia

#### 2.4.4 Pengujian SEM/ EDX

- 1.) Mempersiapkan spesimen yang akan diuji.
- 2.) Meletakkan spesimen pada anvil dan mengatur hingga posisinya stabil dan persis di bawah lensa obyektif
- 3.) Menghidupkan lampu mikroskop.
- 4.) Mengarahkan pandangan mikroskop pada bagian spesimen yang akan diamati dengan cara memutar posisi maju-mundur, kiri-kanan.
- 5.) Memfokuskan pandangan mikroskop sehingga struktur terlihat dengan jelas.
- 6.) Mengambil gambar dari struktur spesimen yang telah difokuskan.

Tabel 7. Jumlah Spesimen yang di uji

Perendaman	Uji Korosi	Uji pH meter	Uji Mikrostruktur	SEM/EDX
Tanpa NaCl	1 spesimen	-	1 spesimen	5 spesimen dengan segmentasi berbeda
0,512 gram	2 spesimen	Ya	2 spesimen	
0,68 gram	2 spesimen	Ya	2 spesimen	
0,85 gram	2 spesimen	Ya	2 spesimen	
1,02 gram	2 spesimen	Ya	2 spesimen	
Jumlah	9 spesimen	4	9 spesimen	5 spesimen



## 2.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat dibawah ini:

