

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Archunan & Petronis (2021) menyatakan bahwa setidaknya sebanyak 2,2 juta operasi bedah rekonstruksi tulang dilakukan di seluruh dunia per tahunnya. Tingginya angka tersebut membuktikan betapa krusialnya *treatment* cacat tulang di dunia medis saat ini. Prosedur rekonstruksi tulang yang saat ini menjadi *gold standard* adalah prosedur *autograft* atau *autogenous bone graft* (Kanazawa dkk., 2017). Namun, prosedur ini sangat bergantung pada ketersediaan tulang pada tubuh pasien, khususnya tulang ilium dan bagian proksimal tulang kering yang biasa digunakan dalam prosedur ini, yang jumlahnya terbatas. Selain itu, proses pengangkatan jaringan tulang sehat dari tubuh pasien tersebut pun bisa dikatakan kurang efektif dan dapat menambah rasa sakit pascaoperasi atau *postoperative pain* untuk pasien (Rahyussalim dkk., 2019). Sebagai alternatif, prosedur *allograft* dipilih untuk menjadi solusi keterbatasan jumlah dan meminimalisasi luka trauma pada pasien. Akan tetapi, prosedur ini memiliki kemungkinan untuk menimbulkan reaksi penolakan imun pada tubuh pasien serta memiliki risiko terjadinya *cross-infection* atau transmisi penyakit antara donor dan resipien (Li dkk., 2017). Oleh karena itu, usaha pengembangan prosedur rekonstruksi tulang sedang secara terus menerus dilakukan dan salah satu prosedur *treatment* yang sedang dikembangkan, yaitu prosedur penanaman implan tulang berbahan baku biomaterial pada bagian tulang pasien yang cacat atau bermasalah (Yang dkk., 2020).

Jika dilihat dari kapabilitas degradasi material yang digunakan, implan tulang logam dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu implan *bio-inert*, seperti implan dengan bahan baku material Ti-alloys, Co-Cr *alloy*, dan *stainless steel* 316L serta implan *biodegradable* yang menggunakan material yang dapat terurai dalam tubuh, seperti Fe, Zn, Mg, dan *alloy*-nya (Amukarimi & Mozafari, 2021; Goharian & Abdullah, 2017; Su dkk., 2020). Namun, penggunaan implan

bio-inert, khususnya pada implan traumatik yang sifatnya non-permanen, mengharuskan dilakukannya operasi pengangkatan implan setelah proses regenerasi tulang selesai, sedangkan implan *biodegradable* tidak membutuhkan operasi lanjutan karena implan telah terurai secara berkala di dalam tubuh pasien sepanjang proses regenerasi berlangsung (Mehdizade dkk., 2023). Operasi pengangkatan implan tersebut tidak hanya dapat menambah biaya *treatment*, tetapi juga dapat memperpanjang proses pemulihan pasien. Faktor tersebut menjadi paradigma dari para doktor ortopedi yang memberikan gagasan untuk mengembangkan implan non-permanen (*temporary*) dari bahan material *biodegradable*. Maka dari itu, kajian mengenai material *biodegradable* yang bertujuan untuk mengoptimalkan laju degradasi material serta kualitas dan efektivitas penyembuhan dari penggunaan implan tulang sedang secara terus menerus dilakukan saat ini.

Selain aspek degradabilitas material, pemilihan material sebagai bahan produksi implan juga harus memperhitungkan aspek kompatibilitas implan pada lingkungan tubuh pasien untuk mencegah terjadinya komplikasi imun. Itulah salah satu faktor yang menjadikan penggunaan biomaterial menjadi poin penting dalam studi mengenai implan tulang. Selain itu, pemilihan material untuk bahan dasar implan ortopedi juga harus memerhatikan aspek daya tahan (*durability*) serta *wear* dan *stress resistance* untuk mengantisipasi terjadinya *aseptic loosening* (Rahyussalim dkk., 2021). Tingkat korosivitas dari biomaterial yang digunakan serta kemampuan material tersebut untuk mendukung proses osteokonduktivitas juga menjadi poin penting dalam pemilihan bahan dasar implan ortopedi. Jika material tersebut tidak memenuhi persyaratan tersebut, proses pemulihan tulang kemungkinan besar akan mengalami kegagalan atau tidak terjadi secara sempurna akibat formasi tulang di sekitar implan yang tidak optimal, terjadinya infeksi, kerusakan implan, ataupun karena implan terlalu cepat terdegradasi (Arcos & Vallet-Regí, 2020; Zhou dkk., 2021). Jadi, syarat untuk sebuah material dapat digunakan sebagai bahan dasar implan, yaitu material tersebut harus memiliki

properti mekanik yang baik, laju degradasi yang dapat dikontrol selama proses penyembuhan, dapat mendukung proses pembentukan jaringan tulang baru, dan aman untuk tubuh manusia (Setyadi, Marsetio, dkk., 2020). Ding (2016) menyatakan bahwa sebuah material harus memiliki *yield strength* lebih dari 200 MPa, *elongation* lebih dari 10%, dan laju degradasi kurang dari 0,5 mmpy di dalam *simulated body fluid* pada suhu 37⁰C untuk dapat diaplikasikan menjadi implan ortopedi.

Seperti yang telah disebutkan pada paragraf sebelumnya, salah satu material logam alternatif yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan implant sementara (*temporary*) adalah magnesium (Mg). Mg dipilih karena merupakan salah satu jenis biometal yang dapat terdegradasi dan memiliki besar *specific strength* yang tinggi, modulus Young yang mendekati tulang, memiliki properti *osteopromotive*, dan sifat unggul lainnya (Setyadi dkk., 2022; Yang dkk., 2020). Namun, laju degradasi magnesium masih terlalu tinggi serta kekuatan (*strength*) dan *ductility*-nya rendah sehingga masih diperlukan suatu solusi untuk mengoptimalkan laju degradasi serta kekuatan dan *ductility* dari Mg (Li dkk., 2017; Z. Yu dkk., 2023). Selain itu, Mg juga termasuk ke dalam kategori unsur dengan kandungan toksin moderat yang dapat menyebabkan gejala mual, gagal ginjal, dan gangguan pola pernafasan sehingga usaha untuk meningkatkan biokompatibilitas Mg pun juga perlu dilakukan (Agarwal dkk., 2016). Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, yaitu metode pembentukan struktur komposit berbasis Mg, pembentukan paduan baru, dan/atau modifikasi atau perlakuan permukaan (*surface treatment*) dapat dijadikan sebagai solusi untuk mengoptimalkan laju degradasi Mg (Kadhim dkk., 2021; Mehdizade dkk., 2023).

Pembentukan struktur komposit berbasis Mg dengan material biokeramik kalsium-fosfat sebagai material *reinforcement* adalah salah satu upaya optimalisasi Mg yang telah dilakukan saat ini (Ghazizadeh dkk., 2021; Jaiswal dkk., 2018; Setyadi dkk., 2024). Salah satu material biokeramik yang diminati untuk menjadi penguat matriks Mg adalah *carbonate apatite* (CO_3Ap ; $\text{Ca}_{10-a}(\text{PO}_4)_{6-b}(\text{CO}_3)_c(\text{OH})_2$ -

a; CAp). CAp dipilih karena material ini dapat meningkatkan bioaktivitas, mudah diabsorpsi, dan dapat mencegah pembentukan *fibrotic tissue* pada saat proses pembentukan jaringan tulang (Setyadi dkk., 2022). Pengembangan komposit berbasis Mg dan CAp tersebut sudah berhasil dikembangkan oleh tim riset BRIN. Komposit Mg-CAp yang dikembangkan telah diproses melalui metode kompaksi hangat dan ekstrusi panas. Satu dari beberapa produk Mg-CAp yang telah dikembangkan adalah Mg-CAp yang diekstrusi pada rasio empat (R4). Penambahan CAp ke dalam matriks Mg terbukti dapat meningkatkan biokompatibilitas material pada kondisi tertentu dan mencegah terjadinya dislokasi lokal ketika ada pembentukan indentasi yang mana dapat berdampak pada peningkatan kekerasan material (Rahyussalim dkk., 2021; Setyadi, Marsetio, dkk., 2020). Proses ekstrusi juga terbukti dapat meningkatkan densitas dan keseragaman distribusi kekerasan Mg-xCAp dengan komposisi 0 dan 5 wt%. Selain itu, kombinasi antara penambahan CAp dan proses ekstrusi juga dapat meningkatkan ketahanan korosi dari material tersebut (Setyadi dkk., 2024). Akan tetapi, walau kekuatannya meningkat secara signifikan setelah melalui proses sintering dan ekstrusi, hal yang sama tidak ditemukan untuk laju degradasinya. Maka dari itu, upaya untuk meningkatkan laju degradasi Mg-CAp R4 masih perlu dilakukan salah satunya, yaitu dengan melakukan metode *surface treatment*.

Salah satu metode *surface treatment* yang dapat diimplementasikan untuk material magnesium adalah *anodizing*. *Anodizing* merupakan suatu proses elektrokimia yang dilakukan untuk mengubah permukaan suatu logam menjadi lapisan pasif oksida yang protektif, dekoratif, atau memiliki karakteristik yang diinginkan lainnya (Mousa dkk., 2017; Salman & Okido, 2013). Penelitian yang dilakukan oleh Henry (2016) menunjukkan pengaruh proses *anodizing* pada tegangan 10, 15, dan 20 V dan durasi 5, 10, dan 15 menit terhadap laju korosi dan morfologi lapisan oksida pada Mg. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sampel yang di-*anodizing* pada tegangan 10 V selama 5 menit memiliki laju korosi dengan kestabilan yang tinggi, sedangkan sampel yang di-*anodizing* pada tegangan 15 V

selama 5 menit memiliki lapisan anodik yang paling tebal. Namun, beberapa penelitian justru menemukan bahwa semakin tinggi tegangan, ketahanan korosi dan ketebalan dari lapisan anodik juga akan semakin meningkat selama tidak ada fenomena *sparking* yang mana berbeda dengan hasil yang ditemukan oleh Henry (2016) (Mousa, Lee, dkk., 2015; Zaffora dkk., 2021). Hal tersebut kemungkinan besar terjadi karena pada tegangan *anodizing* yang tinggi, laju awal formasi ketebalan film juga akan lebih tinggi dibandingkan pada saat penggunaan tegangan operasi yang lebih rendah (Pu dkk., 2021). Selain itu, peningkatan besar tegangan juga diyakini dapat menyebabkan terjadinya proses migrasi ion dan meningkatkan perpindahan molekul serta mempercepat laju elektrolisis (Abdurahman dkk., 2021; Chakik dkk., 2017). Lalu, jika lapisan anodik yang dihasilkan tebal, zat/unsur korosif di lingkungan diasumsikan akan lebih sulit atau membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terpenetrasi dan berinteraksi langsung dengan substrat yang dilindungi sehingga dapat terjadi peningkatan ketahanan korosi yang mana berdampak pada penurunan laju degradasi (M. C. L. de Oliveira dkk., 2014; Rahman dkk., 2019).

Penelitian terhadap laju degradasi Mg-xCAp ($x = 0, 5, 10, \text{ dan } 15 \text{ wt\%}$) dan Mg-5CAp R1,44 telah dilakukan oleh Setyadi dkk. (2022) dan Setyadi dkk. (2024). Namun, dari hasil laju degradasi yang diperoleh pada penelitian tersebut, laju degradasi Mg-xCAp terbukti masih perlu dioptimalkan. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena kemunculan struktur pori akibat gas CO₂ yang terperangkap pada *grain* saat proses fabrikasi substrat berlangsung (Setyadi dkk., 2022). Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses *anodizing* terhadap laju degradasi material komposit Mg-xCAp yang berbasis serbuk hasil pemadatan melalui kompaksi hangat (*warm compaction*) dan ekstrusi dengan rasio ekstrusi 4 (R4).

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan pemaparan latar belakang pada subbab sebelumnya, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

Adhinda Septhia Nur Rizky, 2024

PENGARUH BESAR VOLTAGE PADA PROSES ANODIZING TERHADAP LAJU DEGRADASI KOMPOSIT BIODEGRADABLE Mg-xCAp R4

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

1. Bagaimana pengaruh besar tegangan listrik (*voltage*) yang diberikan pada saat proses *anodizing* terhadap laju degradasi Mg-xCAp.
2. Bagaimana pengaruh tegangan listrik (*voltage*) yang diberikan pada saat proses *anodizing* terhadap ketebalan dan unsur lapisan anodik yang terbentuk pada permukaan Mg-xCAp setelah *anodizing*.
3. Bagaimana pengaruh komposisi carbonate apatite pada komposit Mg-xCAp terhadap laju degradasi.

1.3 Batasan Masalah

1. Laju degradasi akibat pengaruh dari variasi penggunaan tegangan *anodizing* pada penelitian ini diperoleh dari nilai *corrosion rate* (*CR*) dari hasil pengujian Tafel dan diverifikasi secara lebih lanjut dengan nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) dari hasil pengujian EIS terhadap sampel Mg-xCAp ($x = 0, 5, 10, \text{ dan } 15 \text{ wt\%}$) hasil proses pemadatan hangat (*warm compaction*) dan ekstrusi dengan rasio ekstruksi R4 hasil penelitian Setyadi dkk. (2022) yang tidak di-*anodizing* serta telah di-*anodizing* pada tegangan 10, 15, dan 20 V selama 15 menit dan menggunakan larutan elektrolit 0,215 M Na_3PO_4 .
2. Ketebalan dan unsur lapisan anodik yang terbentuk pada permukaan Mg-xCAp akibat pengaruh dari variasi penggunaan tegangan *anodizing* pada penelitian ini diperoleh dengan mengamati hasil SEM-EDX-Mapping dari penampang lintang sampel Mg-5CAp hasil proses pemadatan hangat (*warm compaction*) dan ekstrusi dengan rasio ekstruksi R4 hasil penelitian Setyadi dkk. (2022) yang tidak di-*anodizing* serta telah di-*anodizing* pada tegangan 10, 15, dan 20 V selama 15 menit dan menggunakan larutan elektrolit 0,215 M Na_3PO_4 .
3. Pengaruh komposisi carbonate apatite pada komposit Mg-xCAp terhadap laju degradasi pada penelitian ini diperoleh dengan membandingkan nilai *corrosion rate* (*CR*) dari hasil pengujian Tafel untuk setiap sampel Mg-xCAp ($x = 0, 5, 10, \text{ dan } 15 \text{ wt\%}$) hasil proses

pemadatan hangat (*warm compaction*) dan ekstrusi dengan rasio ekstruksi R4 hasil penelitian Setyadi dkk. (2022) yang tidak di-*anodizing* serta telah di-*anodizing* pada tegangan 10, 15, dan 20 V selama 15 menit dan menggunakan larutan elektrolit 0,215 M Na_3PO_4 .

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh besar tegangan listrik (*voltage*) yang diberikan pada saat proses *anodizing* terhadap laju degradasi Mg-xCAp dari hasil pengujian korosi elektrokimia.
2. Untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik (*voltage*) yang diberikan pada saat proses *anodizing* terhadap ketebalan dan unsur lapisan anodik yang terbentuk pada permukaan Mg-xCAp setelah *anodizing* dari hasil pengujian SEM-EDX-Mapping.
3. Untuk mengetahui pengaruh komposisi carbonate apatite pada Mg-xCAp terhadap laju degradasinya dari hasil pengujian korosi elektrokimia.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan informasi yang disertai bukti pengaruh besar tegangan *anodizing* terhadap karakteristik morfologi lapisan dan ketahanan korosi lapisan anodik yang terbentuk pada permukaan Mg-xCAp. Selain itu, penulis juga berharap hasil penelitian yang dilakukan ini dapat dijadikan referensi untuk pengembangan atau optimasi karakteristik korosi Mg-xCAp.

1.6 Struktur Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari tiga bab yang mana setiap bab-nya tersusun atas beberapa subbab yang berisi penjelasan lebih lanjut mengenai pembahasan yang dijelaskan pada bab tersebut. BAB I merupakan bagian pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian. BAB II berisi kajian pustaka mengenai teori-teori dasar dari

topik penelitian yang dilakukan, seperti pembahasan mengenai biomaterial, magnesium, carbonate apatite, *anodizing*, dan korosi. BAB III tersusun atas rencana waktu dan tempat penelitian serta metode-metode yang akan digunakan pada proses penelitian. Selanjutnya, BAB IV berisi paparan hasil dan pembahasan mengenai hasil pengujian. Lalu, BAB V berisi simpulan, implikasi, dan rekomendasi yang dapat digunakan sebagai saran penelitian yang dapat dilakukan selanjutnya setelah penelitian ini.