

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Titanium murni komersial (*commercial pure titanium/Cp-Ti*) telah menjadi bahan utama dalam pembuatan implan karena keunggulan sifat mekanisnya, seperti kekuatan tinggi, densitas rendah, biokompatibilitas yang baik, dan ketahanan terhadap korosi (Bucur et al., 2020; Dong et al., 2024; Zhang & Chen, 2019). Namun, permasalahan yang sering muncul adalah kerentanannya terhadap korosi dalam lingkungan fisiologis, terutama di dalam tubuh yang mengandung cairan dengan ion agresif (Moritz et al., 2019). Implan Ti juga telah dilaporkan melepaskan produk korosi ke jaringan di sekitarnya yang dapat menyebabkan inflamasi (Moritz et al., 2019). Masalah utama terkait korosi pada Ti adalah kerusakan pada lapisan pelindung alaminya yaitu titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), yang dapat terjadi dalam kondisi tertentu, seperti paparan cairan tubuh (Noël et al., 2018). Hal ini mengakibatkan Ti, meskipun lebih tahan korosi dibandingkan dengan logam lain, tetap memiliki keterbatasan dalam hal ketahanannya terhadap korosi, terutama pada area kontak dengan cairan tubuh manusia (Noël et al., 2018). Permasalahan ini dapat berdampak negatif terhadap keberlanjutan fungsi implan, baik dari segi biokompatibilitas maupun stabilitas mekanik.

Untuk mengatasi permasalahan ini, berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan sifat permukaan Ti melalui modifikasi permukaan dan pelapisan. Berbagai macam lapisan telah dideposisikan pada permukaan logam untuk memperoleh karakteristik implan yang diinginkan seperti peningkatan ketahanan korosi, kemampuan menahan beban implantasi, dan peningkatan biokompatibilitas (Delavar et al., 2023; Kravanja & Finšgar, 2022; Satyanarayana et al., 2024). Pelapisan pada Ti telah banyak dikembangkan untuk meningkatkan berbagai sifat permukaan termasuk ketahanan korosi (Wen et al., 2021) meningkatkan sifat mekanik (R. Sharma et al., 2024), ketahanan terhadap keausan (Yuan et al., 2020), meningkatkan biokompatibilitas dan bioaktivitas (Nuswantoro et al., 2021) serta kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri (Kyrylenko et al., 2021). Dengan metode pelapisan yang tepat, Ti dapat memiliki ketahanan yang lebih terhadap pengaruh lingkungan tubuh, yang sering kali bersifat korosif dan dapat menyebabkan degradasi material.

## PENDAHULUAN

Salah satu material pelapis yang sering digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi adalah material keramik, seperti alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dikenal memiliki ketahanan korosi dan biokompatibilitas yang baik, sehingga penerapan pelapis keramik bersama dengan teknik rekayasa permukaan telah terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan korosi pada logam (Sajjadi et al., 2021). Selain itu, material keramik dapat memberikan sifat kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, sedangkan komponen logam memberikan ketangguhan dan kekuatan tinggi untuk aplikasi menahan beban sebagai implan (Weng et al., 2018).  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mampu bertindak sebagai penghalang mekanis yang melindungi logam dari terjadinya korosi (G. S. Sharma et al., 2019).

Dari berbagai fase alumina yang tersedia, gamma alumina ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) menunjukkan keunggulan dalam hal stabilitas kimia, ketahanan korosi (Topuz, 2023).  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  umumnya dianggap memiliki struktur kristal kubik, yang secara khusus digambarkan sebagai struktur “spinel cacat”, di mana atom oksigen tersusun dalam kisi kubik berpusat pada permukaan, dengan kation aluminium menempati beberapa situs tetrahedral dan oktahedral di dalam kisi tersebut, menciptakan susunan spinel yang tidak sempurna; struktur ini merupakan kunci dari sifat bioaktivitas (Pakharukova et al., 2017). Struktur yang tidak teratur dengan luas permukaan yang tinggi ini berkontribusi pada bioaktivitas  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , yang memungkinkannya berinteraksi dengan lingkungan biologis dan meningkatkan pertumbuhan tulang ketika digunakan dalam aplikasi biomedis (Stuart & Sohlberg, 2021). Lapisan dengan luas permukaan yang besar sangat cocok untuk aplikasi yang melibatkan reaksi permukaan. Pada lapisan untuk implan, pori-pori memungkinkan jaringan tulang tumbuh ke dalamnya, sehingga meningkatkan fiksasi (Farrokhi-Rad, 2018). Selain itu, luas permukaan yang tinggi juga meningkatkan bioaktivitas lapisan dan mendorong pembentukan ikatan kimia langsung dengan jaringan tulang inang.

Namun sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan gamma alumina yang diproduksi secara konvensional. Dalam upaya mendukung prinsip keberlanjutan, daur ulang limbah berbasis aluminium seperti kaleng bekas menawarkan solusi inovatif sebagai sumber alternatif gamma alumina (Rahman et al., 2023). Kaleng bekas merupakan salah satu jenis limbah aluminium paling melimpah di dunia dan dapat diolah menjadi gamma alumina yang berkualitas. Secara global, sekitar  $6 \times 10^9$  kg limbah kaleng dihasilkan setiap tahun (Risonarta et al., 2019). Selain itu, sekitar 1% dari gas rumah kaca (GRK) antropogenik berasal dari industri Al saat ini. Namun, karena kaleng minuman bekas (WBC) sebagian besar mengandung aluminium (>90%), maka kaleng ini dapat dimanfaatkan dengan cara didaur

## PENDAHULUAN

ulang menjadi berbagai produk yang bermanfaat (Nduni et al., 2021). Konteks keberlanjutan penggunaan gamma alumina hasil daur ulang semakin mendapatkan perhatian karena menawarkan dampak lingkungan yang kecil dibandingkan dengan alumina yang diproduksi secara tradisional. Sehingga pelapisan logam menggunakan gamma alumina hasil daur ulang menjadi potensi penelitian terbaru.

Pelapisan alumina berhasil dideposisikan pada substrat logam dengan berbagai metode seperti sol-gel (Sajjadi et al., 2021), pelapisan spray (Fernandez & Jodoin, 2018), *atomic layer deposition* (de Sousa et al., 2023b), *physical vapor deposition* (Naraparaju et al., 2018) dan *electrophoretic deposition* (EPD) (Gaafar et al., 2022). Elektrodeposisi memberikan pelapisan yang merata bahkan pada geometri substrat kecil atau kompleks. Keunggulan elektrodeposisi terletak pada kemampuannya untuk mengontrol ukuran butir dan struktur endapan hanya dengan mengubah parameter proses, seperti tegangan, kerapatan arus, dan komposisi larutan (Maniam & Paul, 2021). Hal ini membuat elektrodeposisi sangat fleksibel dibandingkan dengan metode pelapisan lain seperti pelapisan semprotan termal, deposisi uap fisik dan kimiawi, terutama karena substrat dapat tetap pada suhu rendah selama proses. Metode EPD dibandingkan dengan metode lain seperti sol-gel, plasma spray, metode EPD memiliki keunggulan berupa fleksibilitas yang tinggi untuk diterapkan pada berbagai bentuk substrat. Selain itu, metode ini juga memerlukan peralatan yang lebih sederhana, sehingga lebih efisien dalam penggunaannya (Farrokhi-Rad, 2018).

Proses EPD sangat bergantung pada suspensi dan faktor proses tertentu untuk mencapai lapisan yang seragam, padat, dan bebas retak (Ekhlasiogouei et al., 2024). Faktor-faktor termasuk parameter yang terkait dengan suspensi, seperti ukuran partikel, potensial zeta, stabilitas suspensi, dan konduktivitas suspensi merupakan parameter penting pada pelapisan EPD. Selain itu, parameter proses, seperti tegangan, waktu pengendapan, konsentrasi padatan, dan konduktivitas substrat, juga memainkan peran penting dalam keberhasilan pembentukan lapisan (Saleem et al., 2020). Oleh karena itu, optimasi proses EPD yang ekonomis merupakan tugas yang menantang. Sehingga, *design of experiment* (DoE) Taguchi baru-baru ini digunakan untuk pengembangan proses EPD terkontrol untuk mendapatkan lapisan yang homogen (Saleem et al., 2020). Pendekatan Taguchi DoE memungkinkan untuk mengubah lebih dari satu variabel dalam satu waktu, sehingga mengurangi jumlah percobaan untuk  $c$  (Saleem et al., 2020). Untuk itu, metode Taguchi dapat digunakan sebagai pendekatan yang efektif dalam

## PENDAHULUAN

menentukan kombinasi parameter terbaik. Dengan metode ini, variabilitas hasil dapat diminimalkan, dan performa lapisan dapat dimaksimalkan.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi alumina sebagai material pelapis pada substrat logam. Hasilnya menunjukkan bahwa pelapisan alumina pada logam dengan metode sol-gel menghasilkan kerapatan arus korosi ( $I_{corr}$ ) yang lebih rendah sebesar  $0,15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  dibandingkan dengan substrat logam tanpa pelapisan yakni sebesar  $2,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  (Sajjadi et al., 2021). Metode pelapisan alumina lain juga telah dieksplor menggunakan metode *atomic layer deposition* (ALD) pada Ti untuk keperluan aplikasi biomedis. Hasilnya alumina-titanate memberikan penguatan dan stabilitas untuk membentuk struktur mikro matrik apatit sintesis sehingga meningkatkan bioaktivitas paduan Ti (Mendes et al., 2023). Pelapisan gamma alumina juga telah berhasil dilakukan, studi oleh Sharma et. Al mempelajari pengaruh lapisan gamma alumina pada permukaan stainlesssteel. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa lapisan gamma alumina meningkatkan kekasaran hingga 33,87% dan juga menghasilkan stainlesssteel yang memiliki ketahanan korosi kerapatan arus ( $I_{corr}$ ) sebesar  $0,0967 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  dibandingkan dengan stainless steel tanpa lapisan gamma alumina  $6,87 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  (G. S. Sharma et al., 2019)

Berbagai penelitian mengenai pelapisan alumina telah dilakukan dengan menggunakan berbagai metode seperti sol-gel dan ALD. Namun metode ini memiliki kekurangan seperti proses yang rumit dan keterbatasan dalam mengontrol distribusi partikel pada substrat. Di sisi lain, metode EPD menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan fleksibel, namun hingga kini belum banyak dieksplorasi sebagai teknik pelapisan alumina. Sebagian besar penelitian juga masih berfokus pada penggunaan alumina yang diproduksi secara konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi EPD dalam menghasilkan lapisan alumina yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi metode EPD menggunakan alumina hasil daur ulang sebagai material pelapis pada Ti untuk aplikasi biomedis, dengan fokus pada optimasi proses dan karakterisasi sifat-sifatnya, dan pengujian kinerjanya dalam ketahanan terhadap korosi.

Penelitian ini menggabungkan keunggulan metode EPD dengan inovasi pemanfaatan alumina hasil daur ulang untuk menghasilkan lapisan yang tidak hanya efektif, tetapi juga berkelanjutan dan mendukung prinsip *green technology*. Pada penelitian ini, pengaruh parameter EPD terhadap homogenitas lapisan alumina akan dianalisis menggunakan DoE Taguchi. Secara khusus karakterisasi alumina dan hasil pelapisan alumina dilakukan dengan

## PENDAHULUAN

berbagai metode yakni XRD, FT-IR, PSA, BET, 3D OM, SEM, dan kinerja ketahanan terhadap korosi dilakukan.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian adalah

1. Bagaimana pengaruh parameter *electrophoretic deposition* (EPD) terhadap *deposition yield* dan homogenitas lapisan gamma alumina pada plat Cp-Ti?
2. Bagaimana karakteristik serbuk gamma alumina hasil daur ulang, suspensi gamma alumina dan permukaan plat Cp-Ti terlapis gamma alumina?
3. Bagaimana pengaruh lapisan gamma alumina terhadap ketahanan korosi plat Cp-Ti?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai

1. Pengaruh parameter *electrophoretic deposition* (EPD) terhadap *deposition yield* dan homogenitas lapisan gamma alumina pada plat Cp-Ti
2. Karakteristik serbuk gamma alumina hasil daur ulang, suspensi gamma alumina dan permukaan plat Cp-Ti terlapis gamma alumina
3. Pengaruh lapisan gamma alumina terhadap ketahanan korosi plat Cp-Ti

### 1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini ada beberapa Batasan masalah,yaitu:

1. Penentuan parameter optimum EPD pH pada rentang 2 hingga 12, konsentrasi alumina pada rentang 1-5 g/L dan tegangan 10-30V
2. Jenis Titanium berupa Commercial Pure Titanium *Grade IV*
3. Karakterisasi alumina meliputi kristalinitas, morfologi, dan fisikokimia
4. Pengujian kinerja ketahanan korosi dilakukan secara in-vitro dalam larutan *Simulated Body Fluid* SBF

### 1.5. Manfaat penelitian

Temuan penelitian diharapkan dapat menjadi rujukan dalam

## PENDAHULUAN

1. Pemanfaatan limbah alumina sebagai sumber gamma alumina
2. Pengembangan alternatif material untuk pelapisan pada Cp-Ti
3. Pengembangan teknik pelapisan alumina dengan metode EPD bagi peneliti lain.
4. Pengembangan material implan alternatif berbasis Cp-Ti terlapisi alumina

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Tesis ini terdiri atas BAB I berisi tentang pendahuluan meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. BAB II berisi tentang kajian pustaka meliputi titanium, alumina, metode pelapisan BAB III berisi tentang metode penelitian meliputi alat, bahan, dan cara kerja penelitian. BAB IV berisi tentang temuan dan pembahasan. BAB V berisi tentang simpulan dan saran. Pada tesis ini juga berisi lampiran yang menyertakan data-data perhitungan serta gambar yang tidak ditampilkan pada BAB sebelumnya