

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Implan ortopedi merupakan instrumen medis yang digunakan untuk merehabilitasi cedera atau cacat tulang, yakni dengan memberi struktur pendukung untuk menopang tulang yang rusak atau menggantikan sendi dan tulang yang hilang (Bandopadhyay et al., 2019). Penggunaan implan ortopedi diperlukan pada kasus fraktur tulang yang parah, dimana perlu dilakukan fiksasi atau penyelarasan agar tulang dapat pulih secara sempurna, atau pada kasus dimana tulang gagal beregenerasi sehingga mengakibatkan kecacatan tulang. Keberhasilan implan ortopedi sangat bergantung pada kualitas material yang digunakan, yang dimana perlu memperhatikan biokompatibilitas, sifat mekanik, karakteristik permukaan, serta sifat kimia dan faktor kegagalan agar dapat menyerupai sifat biomekanik tulang dan dapat berintegrasi dengan jaringan tulang sambil mempertahankan integritasnya selama durasi yang diperlukan (Kim et al., 2020).

Stainless steel 316L (SS 316L) adalah salah satu paduan logam yang paling banyak digunakan dalam aplikasi implan ortopedi (Bekmurzayeva et al., 2018). Meski memiliki biokompatibilitas, ketahanan korosi, dan ketahanan aus yang lebih rendah dibandingkan paduan logam lain seperti Ti dan Co-Cr, SS 316L dapat bersaing dari segi biaya yang ekonomis dengan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik, biokompatibilitas yang mencukupi, pemrosesan yang mudah, dan ketersediaan bentuk produk yang luas (Nouri & Wen, 2021). Namun, SS 316L memiliki sifat bioinert yang menghambat respons sel yang diinginkan untuk pembentukan jaringan tulang baru dan oseointegrasi yang efektif antara implan dan jaringan tulang (Priyadarshini et al., 2019). Oseointegrasi atau perekatan implan yang kurang memadai dapat menyebabkan gerakan mikro pada implan, yang meningkatkan kemungkinan pelonggaran aseptik dan kegagalan implan dalam penggunaan jangka panjang. (Florea et al., 2020).

Salah satu solusi yang umum dilakukan untuk meningkatkan oseointegrasi implan logam dengan tulang adalah modifikasi permukaan dengan pelapisan

material biokeramik yang bersifat bioaktif (Harun et al., 2018). Hidroksiapatit (HA) dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ merupakan kandidat sempurna yang banyak digunakan karena merupakan penyusun dari 65% fase mineral tulang dan oleh karenanya memiliki struktur mikro yang hampir sama dan dapat membentuk hubungan kimia dengan jaringan tulang (Rios-Pimentel et al., 2023). Hal ini membuat HA memiliki biokompatibilitas, bioaktivitas dan oseokonduktivitas yang baik sehingga dapat memfasilitasi oseointegrasi implan dengan tulang dan mempercepat pertumbuhan dan penyembuhan jaringan tulang setelah implantasi (Chozhanathmisra et al., 2019 dan Premphet et al., 2017). Penggabungan antara sifat mekanik dan bio-inert SS 316L dengan sifat bioaktif HA dapat menghasilkan kombinasi karakteristik material implan yang optimal untuk aplikasi ortopedi (Ramli et al., 2018).

Pelapisan HA pada logam seperti SS 316L dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya *dip coating*, *plasma spraying*, *sputtering process*, *sol-gel*, dan *electrochemical deposition* (Fadli et al., 2023). Dari metode-metode tersebut, metode *electrochemical deposition* (ECD) dipilih sebagai metode yang paling sesuai karena beberapa kelebihan, yakni prinsip kerja yang sederhana, dapat dilakukan pada temperatur rendah dan tanpa proses vakum, biaya peralatan yang relatif murah untuk produksi massal, fleksibilitas dalam mengatur parameter lapisan, dan kemampuan untuk melapisi permukaan yang berpori dan berbentuk kompleks (Mokabber et al., 2019 dan Kalinina & Pikalova, 2021).

Satu permasalahan yang sering ditemui pada pelapisan HA dengan metode ECD adalah produksi gelembung hidrogen (H_2) yang menghambat nukleasi dan pertumbuhan HA serta mengurangi kekuatan adhesi lapisan dengan logam (Uribe et al., 2022). Salah satu reaksi elektrokimia yang terjadi dalam proses ECD adalah elektrolisis air (H_2O) yang menghasilkan gelembung H_2 pada permukaan katoda dimana deposisi atau pembentukan lapisan HA terjadi. Sebagian dari gelembung tersebut tidak cukup cepat meninggalkan katoda dan terperangkap pada lapisan HA yang belum terbentuk sepenuhnya. Hal ini berdampak pada deposisi lapisan yang tidak homogen dan terbentuknya banyak porositas pada lapisan yang dapat mengurangi kristalinitas, sifat mekanik, dan adhesi lapisan HA dengan substrat logam (Drevet & Benhayoune, 2022).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi tantangan yang ditimbulkan dari fenomena tersebut. Ling et al. (2020) mengusulkan penambahan hidrogen peroksida (H_2O_2) pada larutan elektrolit dan perlakuan *ultrasonic* dalam proses ECD untuk melapisi HA pada SS 316L. H_2O_2 yang ditambahkan diharapkan dapat mensubstitusi H_2O pada proses elektrolisis sehingga reaksinya hanya menghasilkan gugus hidroksil tanpa produksi gelembung H_2 . Adapun perlakuan *ultrasonic* bertujuan untuk menghilangkan gelembung yang dihasilkan dari elektrolisis dan mengeliminasi kristal HA dengan kekuatan adhesi yang rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi H_2O_2 pada larutan elektrolit menghasilkan lapisan HA dengan kristalinitas yang lebih tinggi. Sementara itu, penelitian lain oleh Vidal et al. (2019) melakukan pelapisan HA-kobalt pada permukaan titanium dengan metode *pulsed electrodeposition*. Dalam penelitian tersebut, proses ECD menggunakan *pulsed current* atau arus berdenyut dengan *pulse waveform* berbentuk kotak, dimana aliran arus ke elektroda dijeda dengan frekuensi tertentu secara konstan. Hal ini dilakukan agar ada waktu relaksasi (*time off*) untuk mengurangi emisi H_2 dan memberi waktu bagi H_2 yang terbentuk agar dapat keluar dari katoda. Hasil penelitian menunjukkan lapisan HA yang homogen tanpa porositas dan tidak menunjukkan kecacatan yang ada pada lapisan yang dibentuk dengan arus tetap.

Penelitian ini mengusulkan bentuk lain dari metode *pulsed electrodeposition*, yakni proses ECD menggunakan *pulsed voltage* atau tegangan berdenyut dengan *pulse waveform* berbentuk gelombang sinus AC yang disuperposisikan dengan DC, atau dapat disebut juga tegangan kombinasi AC-DC. Prinsip kerja dari metode ini mirip dengan metode *pulsed current* yang dijelaskan pada paragraf sebelumnya, dimana ada waktu relaksasi saat tegangan berada di titik nol yang diharapkan dapat mengurangi pembentukan H_2 dan memberi kesempatan keluar bagi H_2 agar tidak terperangkap dan menghambat pembentukan lapisan di katoda. Selain itu, diantara parameter ECD yang ada, kadar pH larutan elektrolit merupakan parameter yang belum banyak dijadikan bahasan utama penelitian dan perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruhnya terhadap pertumbuhan lapisan HA. Oleh karena itu, proposal ini diajukan untuk menganalisis pengaruh kadar pH larutan elektrolit dan tegangan kombinasi AC-DC terhadap pertumbuhan HA pada SS 316L

menggunakan metode ECD.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat diperoleh rumusan masalah penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana tegangan kombinasi AC-DC dapat mereduksi dampak negatif yang ditimbulkan gelembung H_2 , sehingga meningkatkan homogenitas lapisan HA dibandingkan dengan tegangan DC?
2. Bagaimana pengaruh pH larutan elektrolit terhadap karakteristik morfologi lapisan HA yang dideposisikan pada SS 316L?
3. Bagaimana pengaruh besarnya tegangan ECD terhadap karakteristik morfologi lapisan HA yang dideposisikan pada SS 316L?
4. Bagaimana pelapisan SS 316L dengan HA menggunakan metode ECD tegangan kombinasi AC-DC dapat meningkatkan ketahanan korosi untuk penggunaan implan jangka panjang?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, dapat diketahui tujuan penelitian skripsi sebagai berikut.

1. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh tegangan kombinasi AC-DC dalam mereduksi dampak negatif gelembung H_2 dan dampaknya terhadap homogenitas lapisan HA dibandingkan dengan tegangan DC.
2. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh pH larutan elektrolit terhadap karakteristik morfologi lapisan HA yang dideposisikan pada SS 316L.
3. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh besar tegangan ECD terhadap karakteristik morfologi lapisan HA yang dideposisikan pada SS 316L.
4. Memperoleh laju korosi setelah pelapisan SS 316L dengan HA menggunakan metode ECD tegangan kombinasi AC-DC untuk mengevaluasi ketahanan korosi dalam penggunaan implan jangka panjang.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya penelitian-penelitian sejenis tentang pelapisan material biokeramik HA dengan metode ECD pada SS 316 L atau logam implan lainnya, sehingga nantinya dapat dimanfaatkan oleh para

peneliti lain baik sebagai pendukung, pembanding maupun rujukan bagi penelitian yang dilakukan.

1.5 Sistematika Penulisan

Struktur penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, di antaranya pendahuluan, kajian pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Bab satu yakni pendahuluan berisi uraian mengenai latar belakang yang menjadi dasar dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Selanjutnya, bab dua berisi kajian pustaka yang membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian. Bab ketiga yaitu metodologi penelitian menjelaskan alat dan bahan serta metode yang diterapkan dalam penelitian. Bab empat berisi pembahasan mengenai hasil karakterisasi dan pengujian sampel, yang pada penelitian ini berfokus pada analisis efektivitas tegangan kombinasi AC-DC dan pengaruh pH elektrolit terhadap lapisan HA yang terbentuk. Bagian akhir skripsi kemudian ditutup oleh bab lima yang menguraikan kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.