

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Titanium

Titanium adalah unsur kimia dengan simbol Ti dan nomor atom 22. Logam ini memiliki warna putih keperakan, massa jenis rendah, ketahanan korosi yang tinggi, serta bersifat sangat biokompatibel sehingga cocok digunakan dalam berbagai bidang medis dan industri[7].



Gambar 2. 1 Titanium[8]

Titanium juga sering dipadukan dengan logam lain dengan tujuan yang berbeda. Untuk penerbangan, alat olahraga, telepon gengam, perhiasan, kedokteran dalam alat medis hingga implant ortopedi. Beberapa keunggulan titanium yang menjadi banyak permintaan menggunakan material titanium ini antara lain:

1. Lebih kuat dari baja namun beratnya hanya 60% dari berat baja.
2. *Fatigue strength* yang lebih tinggi dari Paduan aluminium.
3. Mampu menahan suhu tinggi melebihi 150°C.
4. Bersifat tahan terhadap korosi.

Maka dilihat dari semua karakteristik yang dimiliki titanium, hal ini jelas menjadikan titanium dibutuhkan didalam perkembangan material yang menuntut untuk menghasilkan material tahan korosif, kuat dan lebih ringan.

2.2 Teknologi Pelapisan

Pelapisan pada logam dapat dilakukan dengan menggunakan bahan logam itu sendiri maupun dengan bahan anorganik. Fungsi utama dari pelapisan ini adalah untuk menciptakan suatu penghalang atau penyekat yang dapat memisahkan permukaan logam dari lingkungan sekitarnya sehingga dapat melindungi logam tersebut dari kerusakan. Pelapisan logam terdiri dari berbagai macam teknik yang berbeda, seperti elektrodposisi, *flame spraying*, *cladding*, *hot dipping*, dan *vapor deposition*[9]. Masing-masing metode tersebut memiliki cara kerja dan keunggulan tersendiri dalam penerapannya. Sementara itu, pelapisan anorganik biasanya diaplikasikan dengan cara penyemprotan, proses difusi, atau melalui reaksi kimia konversi. Proses penyemprotan ini umumnya disusul dengan tahap pemanasan pada temperatur tinggi, yang dikenal dengan istilah *baking* atau *firing*, agar lapisan yang terbentuk menjadi lebih kuat dan permanen.

Adanya lapisan logam biasanya mampu meningkatkan beberapa sifat mekanis logam dasar, seperti kemampuan untuk dibentuk atau ditekuk tanpa mudah rusak. Di sisi lain, lapisan anorganik cenderung lebih rapuh dan tidak memiliki elastisitas yang tinggi seperti pelapisan logam. Terlepas dari perbedaan tersebut, keduanya harus mampu berfungsi sebagai penghalang yang efektif agar dapat memberikan perlindungan optimal bagi permukaan logam yang dilapisi. Hal ini sangat penting karena jika terjadi porositas, retakan, atau cacat lain pada lapisan, maka akan berpotensi menimbulkan titik-titik kerusakan pada logam dasar di bawah lapisan tersebut. Kerusakan ini biasanya disebabkan oleh fenomena efek bimetal, di mana interaksi antara dua logam yang berbeda dapat memicu korosi atau degradasi material di area yang cacat tersebut.

Dengan demikian, kualitas dan ketahanan lapisan sangat berperan penting

dalam menjaga daya tahan logam terhadap pengaruh lingkungan eksternal, sehingga pemilihan metode pelapisan dan bahan yang sesuai menjadi aspek krusial dalam proses perlindungan logam.

2.3 Elektroplating

Proses pelapisan permukaan yang dikenal dengan istilah *electroplating* adalah salah satu metode pelapisan menggunakan teknik elektrodposisi. Melalui proses ini, terbentuk lapisan logam atau paduan yang padat, seragam, dan memiliki daya rekat kuat pada permukaan benda kerja, yang berlangsung dengan memanfaatkan arus listrik [10]. Lapisan yang dihasilkan dari *electroplating* ini sering dimanfaatkan untuk melindungi permukaan dari kerusakan, meningkatkan sifat tertentu yang diinginkan pada permukaan tersebut, serta sering juga berfungsi untuk tujuan estetika atau dekoratif. Menariknya, *electroplating* juga dapat diterapkan pada permukaan yang bersifat non-konduktor seperti plastik, selama lapisan tersebut mampu mengikat dengan baik.

Inti dari proses *electroplating* ini adalah sebuah unit yang disebut sel elektrolit, yang terdiri dari larutan elektrolit, anoda, dan katoda. Dalam sistem ini, benda kerja yang akan dilapisi ditempatkan sebagai katoda atau kutub negatif. Sedangkan anoda dapat berupa dua jenis, yaitu anoda korban yang larut selama proses dan menyediakan ion logam yang akan mengendap di katoda, serta anoda permanen yang bersifat inert dan hanya berfungsi memperlengkapi sirkuit listrik tanpa menyediakan ion logam. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, dalam proses produksi biasanya dilakukan tahap *pre-treatment* untuk mempersiapkan permukaan logam sebelum pelapisan, serta *post-treatment* untuk memastikan kualitas dan ketahanan lapisan setelah pelapisan selesai.

Tahapan *pre-treatment* ini sangat penting sebagai persiapan agar permukaan

logam bersih dari kotoran, karat, minyak, dan kontaminan lain yang dapat mengganggu daya rekat lapisan pelindung. Dengan cara ini, lapisan hasil *electroplating* dapat lebih homogen dan memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap korosi maupun keausan selama penggunaannya.

Adapun tahapan *pre-treatment* untuk memastikan permukaan logam sebagai berikut:

2.3.1 Proses Elektrolisis

Pada sel elektroplating sederhana ini dijelaskan proses yang terjadi selama pelapisan listrik berlangsung. Dalam proses tersebut, tembaga berfungsi sebagai anoda, sedangkan pelat titanium dijadikan katoda, dan larutan elektrolit yang digunakan adalah tembaga sulfat. Daya listriknya di *supply* dari *rectifier* arus searah DC (*Direct Current*). Pada anoda inert, tembaga akan teroksidasi (kehilangan 2 elektron) dan larut sebagai kation dalam elektrolit[11]. Reaksi yang digambarkan pada rumus 2.1 di bawah merupakan reaksi yang terjadi apabila menggunakan anoda inert.



Molekul air H_2O melepaskan electron dan menghasilkan ion H^+ serta gas Oksigen. Dua *electron* yang dilepas ke anoda menandakan reaksi oksidasi. Sementara, apabila menggunakan anoda terlarut, maka pelat tembaga akan bereaksi seperti pada rumus 2.2 dibawah ini.

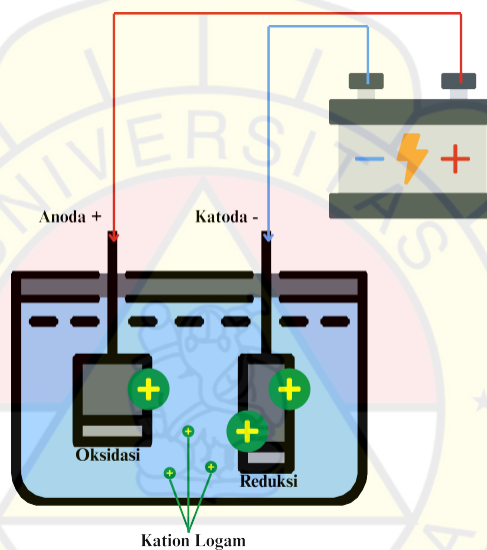


Reaksi yang terjadi apabila menggunakan anoda terlarut yang tergambarakan melalui rumus 2.2 diatas adalah reaksi oksidasi dari Plat tembaga,

dimana ion tembaga Cu^{2+} terlarut ke dalam elektrolit dan 2 elektron dilepaskan dari tembaga ke rangkaian listrik. Sementara reaksi reduksi yang terjadi pada katoda pelat titanium, kation tembaga menggabungkan dengan 2 elektron (reduksi) dan bentuk unsur tembaga yang selanjutnya terdeposit ke permukaan pelat titanium. Menjadikannya berreaksi seperti pada rumus 2.3 dibawah ini.



Adapaun prosesnya tergambarakan seperti pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Proses Elektroplating[11]

Anoda positif yang terhubung ke pelat tembaga yang akan melapisi dan katoda negative yang terhubung dengan pelat titanium yang ingin dilapisi. Gambar 3.1 diatas merupakan gambar ilustrasi dari proses *electroplating* sederhana dengan *rectifier* sebagai daya listrik dari arus lemah atau *direct current* (DC).

2.3.2 Hukum Faraday

Prinsip atau teori dasar dari *electroplating* adalah prinsip yang berpedoman berdasarkan hukum faraday yang menyatakan:

1. Jumlah zat yang terbentuk dan dilepaskan pada elektroda selama proses elektrolisis memiliki hubungan yang sebanding dengan besar

arus listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit. Artinya, semakin besar arus listrik yang dilewatkan, maka jumlah zat yang muncul pada elektroda juga akan semakin banyak. Hubungan ini menjelaskan bahwa produksi zat pada elektroda langsung terkait dengan jumlah arus listrik yang digunakan selama elektrolisis.

2. Jumlah zat yang terbentuk selama proses elektrolisis dengan besar arus listrik yang sama akan sebanding dengan berat ekuivalen zat tersebut. Artinya, jika arus listrik yang digunakan sama pada elektrolisis berbagai zat, maka massa zat yang dihasilkan atau diendapkan pada elektroda akan proporsional dengan berat ekuivalennya masing-masing. Prinsip ini dikenal sebagai Hukum Faraday II, yang menyatakan bahwa massa zat yang terbentuk selama elektrolisis berbanding lurus dengan berat ekivalen zat itu, sehingga zat dengan berat ekivalen lebih besar akan menghasilkan massa yang lebih besar pula pada jumlah listrik yang sama..

Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan dengan jumlah arus yang dipakai untuk mendapatkannya[12]. Hukum faraday dapat dituliskan dalam persamaan 2.4 dibawah ini:

$$W = \frac{e.l.t}{F} \quad (2.4)$$

Di mana,

W = Massa zat yang diendapkan (gr, Gram)

E = Ekivalen elektrokimia (gr/K, Gram/Koulomb)

L = Arus Listrik (A, Ampere)

T = Waktu (s, detik)

$F = \text{Konstanta Faraday } 96485 \quad (\text{C/mol})$

Hukum Faraday sangat berkaitan dengan konsep efisiensi arus dalam proses *electroplating*. Efisiensi arus sendiri adalah perbandingan antara berat endapan logam yang benar-benar terbentuk pada permukaan dengan berat endapan yang seharusnya terbentuk secara teoritis, dan hasilnya dinyatakan dalam bentuk persentase. Ketika dikatakan bahwa tegangan dalam proses *electroplating* diinginkan dalam kondisi konstan, maksudnya adalah nilai tegangan tersebut tidak akan mengalami perubahan atau terpengaruh oleh besar kecilnya arus listrik yang digunakan dalam proses. Dengan kata lain, meskipun arus listrik yang dipakai bervariasi, tegangan tetap dipertahankan stabil agar proses pelapisan berlangsung optimal.

2.3.3 Tembaga *Plating*

Tembaga *Plating* merupakan proses yang sangat banyak dilakukan di dunia Industri. Sudah lebih dari seratus tahun perkembangan tembaga *plating* ini dikembangkan baik sebagai tujuan melapisi hingga tujuan keindahan atau dekoratif. Tembaga *plating* ini merupakan proses melapisi (*coating*) logam lain dengan lapisan tembaga tipis menggunakan metode kimia yaitu *electroplating*.



Gambar 2. 3 Proses Tembaga *Plating*[13]

Pada gambar 2.3 merupakan penggambaran dari proses tembaga *plating* skala besar. Perlindungan korosi, peningkatan konduktivitas Listrik, sebagai

pelapisan dasar hingga meningkatkan sifat permukaan yang dilapisi merupakan beberapa tujuan dilakukannya tembaga *plating*. Pelat tembaga yang berperan sebagai anoda memiliki karakter logam berwarna jingga kemerahan[14], memiliki *symbol* atom Cu dengan nomor atom 29[15]. Tembaga juga memiliki massa atom relative sebesar 63.55 dengan titik leleh ± 1085 °C dan titik didih ± 2562 °C. sifat lain yang dimiliki tembaga yaitu lunak dan mudah ditempa. Sehingga tembaga sering dibentuk menjadi kawat. Beberapa sifat khusus tembaga mampu berperan sebagai konduktor utama pada kumparan motor, PCB dan kabel Listrik. Selain itu, tembaga juga bersifat sebagai agen antibakteri yang sangat berperan baik dalam implan medis.



Gambar 2. 4 Pelat Tembaga[16]

Gambar 24 diatas merupakan bentuk Pelat tembaga yang banyak beredar di industri perdagangan. Merujuk pada sifat khusus tembaga yang mampu bertindak sebagai agen antibakteri. Dibawah ini merupakan tabel 2.1 yang menunjukkan hasil pengujian tembaga terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*.

Tabel 2. 1 Hasil Rata Rata menempelnya bakteri *S. aureus*[17]

Initial cell concentration Log (CFU ml ⁻¹)	Time (h)	Attachment (Log (CFU cm ⁻²)) of <i>S. aureus</i>			
		AISI 316L	copper	silver	copper-silver
7.3	0.5	4.7 ± 0.1	2.5 ± 0.7	4.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1

Dari data tabel 2.1 diatas menjelaskan bahwa kemampuan *copper* atau

tembaga, mampu menghambat kolonisasi bakteri *Staphylococcus aureus* sebesar 2.5 ± 0.7 [17] kondisi ini menjelaskan bahwa kemampuan pelapisan menggunakan tembaga *plating* merupakan metode yang sesuai dengan tujuan meningkatkan sifat antibakteri.

2.4 Serbuk Tembaga Sulfat

Sesuai dengan standar ASTM B734, pada pelapisan tembaga komposisi larutan elektrolisis dapat mengandung larutan sulfat atau *acid*. Dalam proses tembaga plating ini, yang digunakan adalah *Copper Sulfate* dengan rumus molekulnya CuSO_4 , senyawa kimia ini umum digunakan dalam pelapisan skala industri dan dikenal dengan *Copper Sulfate* bentuk *pentahydrate* yang berwarna biru terang.



Gambar 2. 5 *Copper Sulfate*[18]

Gambar 2.5 diatas merupakan *Copper Sulfate* yang digunakan dalam proses tembaga plating. Standar yang digunakan adalah ASTM B734 kelas C dengan ketebalan $\geq 6 \mu\text{m}$.

2.5 Pengujian *Mechanical*

Dalam penelitian eksperimen ini, dilakukan juga pengujian untuk menilai hasil percobaan eksperimen, Adapun beberapa pengujian yang akan dilakukan antara lain:

1. Struktur Lapisan, dapat dilakukan observasi pengamatan visual untuk mengamati perubahan yang terjadi pada spesimen uji.

2. *Dry Film Test*, adalah metode pengujian ketebalan lapisan coating yang dilakukan untuk mengukur seberapa tebal deposit lapisan yang terbentuk pada permukaan spesimen uji. Pengujian ini mengikuti standar dari ASTM B499.
3. Adhesivitas, menggunakan tape test yang merujuk pada standar ASTM D3359[19] untuk menilai kekuatan daya lekat lapisan *electroplating* pada substrat logamnya.

2.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis awal dalam penelitian ini adalah adanya dugaan bahwa variasi kuat arus listrik dan durasi proses pelapisan memiliki pengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk.

