

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Aluminium (Al) merupakan logam yang mudah dibentuk dengan proses mesin sehingga banyak digunakan di berbagai sektor industri, selain itu Al juga banyak digunakan di dunia industri karena memiliki ketahanan terhadap korosi. Ketahanan terhadap korosi tersebut menjadikan Al sebagai logam yang banyak diaplikasikan, terutama pada industri manufaktur, otomotif dan dirgantara. Al juga banyak digunakan karena memiliki sifat yang ringan serta memiliki konduktivitas yang baik, sehingga sering digunakan pada komponen elektronik seperti *heat sink* dan *casing* untuk komputer (Pimenov et al., 2023).

Walaupun Al memiliki beberapa kelebihan seperti mudah dibentuk, ringan, dan tahan terhadap korosi, namun pada kenyataannya penggunaannya masih terbatas Jia *et al.* (2025) menyatakan bahwa kekerasan Al itu relatif rendah. Dengan tingkat kekerasan Al yang tidak terlalu tinggi ketahanannya terhadap gaya gesek saat terjadi kontak kurang baik. Selain itu, meskipun Al memiliki ketahanan korosi alami karena terdapat lapisan oksida (Al_2O_3) pada permukaannya, lapisan Al_2O_3 tersebut tipis sehingga perlindungan yang diberikan terbatas, akibatnya Al tetap berpotensi mengalami korosi pada permukaannya (Korzekwa, 2023).

Kanani (2004) menjelaskan, untuk mengatasi lapisan Al_2O_3 tersebut salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melapisi logam Al menggunakan logam lain yang memiliki sifat lebih baik sebagai pelapisnya seperti tembaga (Cu), nikel (Ni) atau krom (Cr). Pelapisan logam tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode *electroplating* melalui proses elektrolisis menggunakan arus listrik searah (DC), di mana arus listrik DC mengalir melalui rangkaian luar menyebabkan logam pada anoda mengalami reaksi oksidasi melepaskan ion logam ke dalam larutan elektrolit. Ion logam yang larut dari anoda tersebut kemudian bergerak melalui larutan elektrolit menuju katoda, lalu mengalami reaksi reduksi dan mengendap pada permukaan katoda. Metode pelapisan *electroplating* dipilih karena memiliki beberapa

kelebihan, pertama relatif lebih ekonomis, karena konsumsi materialnya lebih efisien, yaitu logam pelapis hanya akan terdeposit pada permukaan yang dialiri arus listrik, lalu yang kedua ketebalan lapisan yang dihasilkan dapat diatur hingga skala mikrometer (Rosyidan et al., 2022).

Proses *electroplating* menggunakan arus listrik DC untuk menggerakkan reaksi kimia. Arus listrik DC yang mengalir melalui rangkaian luar menyebabkan logam anoda mengalami reaksi oksidasi, di mana atom logam melepaskan elektron dan larut menjadi ion logam ke dalam larutan elektrolit. Elektron yang dilepaskan mengalir melalui rangkaian luar menuju katoda, yang menyebabkan beda potensial sehingga ion logam akan bergerak secara terarah di dalam larutan elektrolit dari anoda menuju katoda. Pada katoda terjadi reaksi reduksi di mana ion logam yang berada di dalam larutan elektrolit akan menerima elektron sehingga menjadi atom logam yang kemudian mengendap pada permukaan katoda (Kanani, 2004).

Proses *electroplating* memiliki dua metode yang digunakan tergantung jenis dan ukuran dari benda kerja yang akan dilapis, yang pertama ada *barrel electroplating* digunakan untuk melapisi benda kerja dengan ukuran kecil secara massal seperti mur dan baut, benda kerja tersebut diletakan di dalam wadah yang berputar di dalam larutan elektrolit. Kemudian metode *electroplating* yang kedua ada *rack electroplating* yang digunakan untuk melapisi benda kerja dengan ukuran besar, dengan cara menggantung benda kerja menggunakan *rack* kemudian direndam ke dalam larutan elektrolit (Gugua et al., 2024).

Barrel electroplating memiliki mekanisme gerakan *barrel* yang berputar, Chung et al. (2019) menjelaskan jika putaran ini menyebabkan benda kerja yang berada di dalam *barrel* akan ikut berputar. Benda kerja yang berputar di dalam *barrel* menyebabkan setiap sisi permukaan benda kerja akan bersentuhan dengan *danglers* (kabel konduktor) menyebabkan permukaan benda kerja terlapis lebih merata. Selain itu, *barrel electroplating* cocok untuk melapisi benda kerja yang berukuran kecil, rotasi *barrel* juga dapat mengontrol laju deposisi untuk mengendalikan ketebalan lapisan. *Barrel electroplating* juga memungkinkan pelapisan dilakukan secara bersamaan dengan biaya yang lebih

rendah dibandingkan penggunaan batang Cu untuk membuat benda kerja yang berukuran kecil. Meskipun kontak bergilir antara benda kerja dengan *danglers* pada proses *barrel electroplating* membuat hasil lapisan cenderung lebih merata secara keseluruhan dibandingkan dengan metode *rack electroplating*, sifat kontak tersebut tetap berselang karena benda kerja terus berputar dan berpindah posisi di dalam *barrel*. Akibatnya, distribusi arus di dalam *barrel* tidak selalu sama, sehingga distribusi arus listrik di dalam *barrel* menjadi salah satu aspek yang perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil pelapisan (Syamsuir et al., 2023).

Cu dipilih sebagai logam pelapis dari Al sebab memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari Al, sehingga dapat meningkatkan kekuatan permukaan substrat. Selain itu, Cu memiliki hambatan listrik yang rendah sehingga elektron dapat mengalir secara efisien dari anoda menuju katoda. Sesuai dengan Hukum Faraday, laju deposisi berbanding lurus dengan kuat arus listrik yang mengalir, sehingga ketebalan lapisan dapat dikendalikan melalui pengaturan kuat arus listrik dan lamanya waktu pelapisan. Penelitian yang dilakukan oleh Syamsuir *et al.* (2019) yang melakukan pengujian korosi menunjukkan bahwa lapisan Cu pada substrat Al memiliki laju korosi yang lebih rendah dibandingkan Al tanpa pelapis.

Sebelum melakukan proses *barrel electroplating* terutama pada logam Al, diperlukan lapisan antara logam Cu dengan logam Al. Augustin et al., 2016 menjelaskan perlunya lapisan awal yang berfungsi sebagai lapisan antara, supaya deposisi lapisan Cu lebih stabil dan memiliki daya rekat yang baik, sebab terdapat lapisan Al_2O_3 yang terbentuk secara spontan pada permukaan Al. Meskipun lapisan Al_2O_3 ini melindungi Al dari korosi, lapisan tersebut justru menjadi penghalang pada proses *barrel electroplating* karena bersifat isolator. Ketika arus listrik dialirkan ion Cu^{2+} tidak dapat terdeposisi dengan baik pada permukaan Al. Akibatnya, lapisan Cu yang terbentuk menjadi tidak merata. Mengingat lapisan Al_2O_3 cepat sekali terbentuk, bahkan setelah dibersihkan secara mekanik, maka diperlukan lapisan awal yang dapat menjadi lapisan antara supaya lapisan Cu dapat terdeposisi lebih merata (Robertson et al., 1995).

Lapisan awal seng (Zn) sebagai lapisan antara Al dan Cu memungkinkan Cu terdeposisi secara stabil pada permukaan Al. Lapisan seng ini diperlukan sebab Al secara alami membentuk lapisan Al_2O_3 yang menghalangi terbentuknya ikatan langsung antara Cu dan Al. (Bailey, 1950) menjelaskan bahwa lapisan Zn menutupi permukaan Al melalui proses pembentukan titik-titik kecil, di mana titik-titik kecil Zn mula-mula mengendap pada titik-titik tertentu di permukaan Al. Titik-titik kecil ini kemudian tumbuh hingga menutup seluruh permukaan secara merata. (Lee et al., 2007) mengkonfirmasi bahwa pengendapan awal Zn terjadi pada titik-titik tertentu yang akhirnya tumbuh menjadi lapisan tipis yang seragam, di mana lapisan Zn yang terbentuk ini menggantikan lapisan Al_2O_3 pada permukaan substrat.

Hasil lapisan pada proses *barrel electroplating* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan putar, diameter lubang *barrel*, dan temperatur, di mana mempengaruhi hasil lapisan yang terbentuk pada permukaan substrat. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, faktor tersebut kerap menghasilkan lapisan yang tidak merata, sementara itu penelitian mengenai pengaruh kuat arus listrik pada proses *barrel electroplating* dengan lapisan awal Zn terhadap hasil lapisan masih terbatas. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kuat arus listrik sebesar 400 mA, 500 mA, dan 600 mA pada substrat yang telah diberi lapisan awal Zn terhadap ketebalan lapisan, kekerasan, dan ketahanan terhadap korosi.

Penelitian terkait pelapisan Cu menggunakan metode *electroplating* terus berkembang. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Syamsuir et al., 2024) menunjukkan peningkatan kecepatan putaran *barrel* menyebabkan terjadinya penurunan laju deposisi. Spesimen dengan putaran tertinggi menggunakan arus listrik sebesar 228 mA menunjukkan nilai laju deposisi terendah. Penelitian oleh Han et al., (2012) menunjukkan bahwa ketebalan lapisan meningkat seiring dengan bertambahnya diameter lubang *barrel*. Kemudian penelitian *barrel electroplating* sebelumnya yang dilakukan oleh Ubaidillah (2026) memperkuat penjelasan ini, di mana menggunakan variasi lubang *barrel* $\varnothing 3$ mm, $\varnothing 4$ mm dan $\varnothing 5$ mm menggunakan arus listrik 200 mA

dengan kecepatan rotasi *barrel* 50 rpm selama 2 jam. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ubaidilah (2026) menunjukkan peningkatan laju deposisi dan ketebalan lapisan, di mana spesimen dengan lubang *barrel* $\varnothing 5$ mm memperoleh nilai laju deposisi terbesar yaitu 4,96 $\mu\text{m}/\text{jam}$ dengan ketebalan lapisan sebesar 9,92 μm , sedangkan spesimen dengan lubang *barrel* $\varnothing 3$ mm memperoleh nilai laju deposisi 3,72 $\mu\text{m}/\text{jam}$ dengan ketebalan lapisan sebesar 7,44 μm .

Kusumah *et al*, (2024) menemukan jika efek kecepatan putaran *barrel*, di mana semakin tinggi kecepatan putarnya, maka laju deposisi dan ketebalan lapisan pada lapisan Cu maupun Ni justru mengalami penurunan. Hasil ini sejalan dengan temuan Widiyanto (2024) yang membuktikan bahwa kecepatan putar yang lebih tinggi berdampak pada menurunnya kekerasan lapisan, sebagai konsekuensi dari berkurangnya ketebalan hasil deposisi. Selain pengaruh dari diameter lubang *barrel* dan kecepatan putar *barrel*, penelitian oleh Hasanudin *et al*. (2022) dan Liao *et al*. (2013) menunjukkan jika kuat arus listrik yang lebih besar menyebabkan laju deposisi meningkat, sehingga secara signifikan meningkatkan ketebalan lapisan yang terbentuk, namun demikian studi tersebut masih terbatas pada pengujian ketebalan lapisan saja. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kuat arus listrik terhadap ketebalan lapisan sudah banyak diuji, namun pengaruhnya terhadap kekerasan permukaan dan ketahanan korosi lapisan secara bersamaan masih belum banyak dibahas secara lengkap, sehingga hubungan antara ketiga variabel tersebut perlu diteliti lebih lanjut.

Variasi kuat arus listrik merupakan faktor yang menarik untuk dipelajari di mana aliran listrik yang diterima benda kerja tidak selalu merata akibat adanya gerakan berputar di dalam *barrel*, sehingga perubahan kuat arus listrik dapat memberikan pengaruh yang signifikan. Hasil ketebalan lapisan dapat dihitung menggunakan rumus untuk mengetahui ketebalan lapisan yang terbentuk, untuk hasil kekerasan dapat diuji menggunakan metode pengujian *vickers hardness test* untuk mengetahui tingkat kekerasan lapisan yang terbentuk, Kemudian hasil ketahanan korosi dapat diuji menggunakan pengujian polarisasi potensiostat dengan menggunakan potensiostat untuk mengetahui laju korosi dari lapisan yang terbentuk.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa masalah yang terjadi, sebagai berikut:

1. Al memiliki keunggulan yang ringan dan mudah dibentuk, namun kekerasan dan ketahanan ausnya relatif rendah, sehingga perlu peningkatan kekerasan melalui proses pelapisan.
2. Lapisan Al_2O_3 yang bersifat isolator dapat menghambat proses *electroplating* serta menurunkan daya lekat dan keseragaman lapisan.
3. Lapisan awal Zn diperlukan untuk mengatasi lapisan Al_2O_3 , namun pengaruh variasi kuat arus listrik terhadap hasil pelapisan Cu pada proses *barrel electroplating* aluminium dengan lapisan awal Zn belum banyak dikaji.
4. Pada proses *barrel electroplating*, meskipun menghasilkan distribusi lapisan yang lebih merata, distribusi arus listrik di dalam *barrel* dipengaruhi oleh pergerakan benda kerja di dalam *barrel*, sehingga variasi kuat arus listrik perlu dikaji lebih lanjut.
5. Variasi kuat arus listrik berpengaruh terhadap ketebalan, kekerasan dan ketahanan korosi lapisan, namun hubungan pengaruh tersebut belum dijelaskan secara komprehensif dalam penelitian sebelumnya.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, supaya permasalahan yang diteliti lebih terfokus maka peneliti membatasi permasalahan penelitian ini ke dalam beberapa poin berikut ini:

1. Penelitian menggunakan alat *barrel electroplating* skala laboratorium dengan diameter lubang *barrel* $\varnothing 3$ mm.
2. Variasi kuat arus listrik adalah 400 mA, 500 mA dan 600 mA.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi pada latar belakang, identifikasi masalah dan batasan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik pada 400 mA, 500 mA, dan 600 mA terhadap laju deposisi dan ketebalan lapisan Cu pada Al dengan lapisan awal Zn.
2. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik terhadap kekerasan permukaan lapisan Cu hasil *barrel electroplating*.
3. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik terhadap ketahanan korosi lapisan Cu hasil *barrel electroplating*.
4. Kuat arus listrik berapakah di antara 400 mA, 500 mA, dan 600 mA yang menghasilkan lapisan Cu optimal, ditinjau dari kombinasi laju deposisi, ketebalan, kekerasan, dan ketahanan korosi.

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh kuat arus listrik pada 400 mA, 500 mA, dan 600 mA terhadap laju deposisi dan ketebalan lapisan Cu pada substrat Al yang telah diberi lapisan awal Zn.
2. Mengetahui pengaruh kuat arus listrik terhadap kekerasan permukaan lapisan Cu hasil *barrel electroplating*.
3. Mengetahui pengaruh kuat arus listrik terhadap ketahanan korosi lapisan Cu hasil *barrel electroplating*.
4. Menentukan kuat arus listrik di antara 400 mA, 500 mA, dan 600 mA yang menghasilkan lapisan Cu paling optimal, ditinjau dari kombinasi laju deposisi, ketebalan, kekerasan, dan ketahanan korosi.

1.6. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pengetahuan di bidang teknik material dan rekayasa permukaan, khususnya terkait pengaruh variasi kuat arus listrik pada proses *barrel electroplating* Al dengan pelapisan awal seng terhadap laju deposisi, ketebalan lapisan, kekerasan, dan ketahanan korosi.
2. Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengalaman penulis mengenai proses *barrel electroplating* Al, serta pengaruh variasi kuat arus listrik terhadap karakteristik lapisan hasil pelapisan, sekaligus melatih kemampuan penulis dalam melakukan pengujian dan analisis material secara sistematis dan ilmiah.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi dalam pelaksanaan proses *barrel electroplating* Al dengan pelapisan awal seng dan pelapis Cu, khususnya dalam menentukan variasi kuat arus listrik yang sesuai untuk menghasilkan laju deposisi, ketebalan lapisan, kekerasan lapisan, dan ketahanan korosi yang lebih optimal.

