

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi modern sangat dipengaruhi oleh peran logam sebagai bahan utama, baik dalam bentuk murni maupun dalam bentuk paduan. Logam telah lama digunakan sejak awal peradaban manusia untuk mendukung berbagai aktivitas kehidupan. Saat ini, logam dituntut memiliki kekerasan tinggi, tahan aus dan korosi, serta kemampuan mempertahankan performa pada temperatur ekstrem.

Nikel (Ni) merupakan logam yang banyak digunakan dalam pengembangan material komposit karena mampu membentuk lapisan tipis dengan partikel penguat yang terdispersi merata di dalam matriksnya (Y. Zhao et al., 2015). Berbagai studi telah mengeksplorasi kodeposisi Ni dengan partikel keras seperti ZrO_2 , TiO_2 , TiN , Al_2O_3 , CeO_2 , SiO_2 , WC , dan CNT untuk meningkatkan sifat mekanik lapisan (Guo et al., 2017). Penambahan partikel seperti graphene juga terbukti memperbaiki morfologi lapisan serta meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi pada komposit berbasis nikel (Szeptycka et al., 2016).

Komposit dengan matriks logam (*Metal Matrix Composite*) biasanya terdiri dari dua fasa atau lebih, yaitu fasa matriks logam dan fasa penguat yang bekerja bersama membentuk struktur yang lebih homogen, menghasilkan material dengan ketahanan mekanik tinggi (Romijarso et al., 2021). Penggabungan fasa penguat ke dalam matriks logam mampu meningkatkan kekuatan mekanik material (Dadkhah et al., 2021).

Aluminium nitrida (AlN) dikenal karena sifat fisik dan kimia unggulnya sehingga digunakan luas dalam opto-elektronik dan manufaktur semikonduktor (L. Wang et al., 2025). Material ini juga diterapkan dalam aplikasi fotonik inframerah menengah karena jendela transmisinya luas, resistensi termal dan kimia yang tinggi, serta kemampuan integrasi CMOS (Dong et al., 2018). AlN sering dipilih sebagai nanoaditif dalam komposit karena koefisien muai panasnya rendah hanya pada

rentang 20-500 °C ($4,6 \times 10^{-6}/K$), resistivitas listrik sangat besar ($>10^{16} \Omega \cdot m$), serta ketahanan aus dan korosi yang baik (Radwan & Shakoor, 2020).

AlN semakin banyak diteliti sebagai alternatif pelapisan keras pengganti Titanium Nitride (TiN), terutama untuk aplikasi temperatur tinggi dan lingkungan yang agresif. AlN mampu menawarkan stabilitas termal serta ketahanan oksidasi yang lebih baik dibandingkan TiN ketika digunakan sebagai *diffusion barrier*. Pada sistem nano-komposit Ni+CrAlYSiN, lapisan AlN terbukti menjaga integritas struktur dan menahan inter-difusi serta oksidasi hingga 1000 °C selama 100 jam, sementara TiN mengalami degradasi oksidatif yang lebih signifikan pada kondisi yang sama (Zhu et al., 2021). Penggunaan TiN pada temperatur tinggi (≥ 550 °C) dapat menyebabkan oksidasi unsur Ti yang menghasilkan oksida kurang stabil, sehingga mempercepat degradasi lapisan (Lin, 2021). Sebaliknya, AlN mampu membentuk oksida stabil seperti Al_2O_3 yang berperan sebagai lapisan pasif pelindung, sehingga memberikan ketahanan oksidasi jangka panjang dan stabilitas kimia lebih unggul di bawah kondisi temperatur ekstrem (Zhu et al., 2021).

Dalam penelitian ini, material dasar yang digunakan sebagai substrat adalah *High-Speed Steel* (HSS) yang memiliki kombinasi kekerasan tinggi, ketahanan aus yang baik, dan stabilitas termal saat bekerja pada kondisi temperatur dan gesekan tinggi (Saifudin, 2017). Komposisi HSS biasanya mencakup C, W, Mo, V, Cr, dan Co, sehingga struktur mikro baja ini mengandung paduan dan karbida yang memberikan ketahanan mekanis dan ketahanan aus (Rahayu, 2018).

Sementara itu, silikon nitrida (Si_3N_4) banyak digunakan sebagai penguat dalam komposit berbasis nikel karena kekerasan tinggi, ketahanan aus, dan stabilitas termalnya (Czapczyk, 2020). Penambahan partikel Si_3N_4 sebesar 2-6 wt% pada komposit aluminium AA2219 mampu menurunkan laju keausan dan meningkatkan sifat tribologisnya (Ramachandra et al., 2024). Penambahan Si_3N_4 bersama B_4C pada matriks tembaga juga menghasilkan peningkatan microhardness dan perbaikan sifat mekanik secara keseluruhan (Djouider et al., 2023). Selain itu, penggunaan nanopartikel Si_3N_4 dalam aluminium alloy terbukti meningkatkan kekerasan dan memperbaiki mikrostruktur material (A. Kumar et al., 2022).

Salah satu strategi utama untuk meningkatkan performa logam adalah pelapisan permukaan tanpa mengubah sifat dasar materialnya (Natalia et al., 2023). Metode elektrodposisi terbukti efektif meningkatkan kekuatan dan ketahanan logam (U. Kumar et al., 2019), terutama saat digunakan sebagai elektrodposisi nikel-komposit yang memiliki kekerasan, ketahanan aus lebih baik dibanding nikel murni (Zallele et al., 2024). Berbagai inovasi terus dilakukan termasuk pembuatan komposit melalui teknik elektrodposisi (Nu'maa et al., 2020).

Teknik *Pulse Current Electrodeposition* (PCE) dinilai lebih unggul daripada arus searah konvensional karena mampu menghasilkan struktur lapisan yang lebih halus, homogen, dan efisien (F. Xia et al., 2017). Ketika PCE dikombinasikan dengan gelombang ultrasonik, kualitas pelapisan meningkat signifikan karena kavitasi ultrasonik membantu memecah aglomerasi partikel dan mempercepat transport massa menuju permukaan katoda (Li et al., 2021). Selain itu, gelombang ultrasonik menghasilkan agitasi akustik yang membantu mendispersikan partikel penguat secara lebih merata, sehingga inkorporasi partikel ke dalam matriks logam dapat meningkat (Tudela et al., 2014). Penggunaan variasi rapat arus pulsa selama elektrodposisi memberikan kontrol lebih besar terhadap laju nukleasi kristal dan pertumbuhan butir, karena densitas arus yang berbeda berpengaruh langsung pada ukuran butir dan struktur mikro deposit (Y. Wang et al., 2018).

Berdasarkan kajian literatur, penelitian komposit Ni-AlN umumnya fokus pada struktur kristal dan morfologi permukaan lapisan komposit. Radwan dan Shakoor (2020) melaporkan bahwa lapisan Ni-AlN memiliki puncak difraksi sinar-X pada bidang kristal Ni (111) sekitar $2\theta = 45^\circ$, dengan puncak tambahan pada 52° dan 77° untuk orientasi (200) dan (220), menandakan terbentuknya struktur kristal yang jelas, meskipun puncak khas AlN tidak terdeteksi akibat distribusi partikel yang tidak merata. Pada substrat logam keras seperti WC maupun baja HSS, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan arus pulsa dalam elektrodposisi memengaruhi ketebalan lapisan, adhesi, dan morfologi permukaan. Analisis SEM-

EDS menunjukkan adanya variasi kekasaran, aglomerasi partikel, dan perubahan ketebalan yang bergantung pada rapat arus pulsa (Maulida et al., 2024).

Dalam penelitian ini, dilakukan pembentukan lapisan Ni-AlN/Si₃N₄ pada substrat baja High Speed Steel (HSS) menggunakan metode elektrodposisi ultrasonik dengan variasi rapat arus pulsa 0,064 mA/mm², 0,072 mA/mm² dan 0,080 mA/mm². Lapisan yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk memeriksa morfologi dan komposisi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengamati struktur kristal, serta kekerasan lapisan yang diuji menggunakan *Vickers Hardness Test*. Hasil karakterisasi diharapkan dapat menunjukkan pengaruh variasi rapat arus pulsa terhadap morfologi, komposisi, struktur kristal, dan kekerasan lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄, sehingga diperoleh kondisi yang optimal dan memuaskan.

B. Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi rapat arus pulsa sebesar 0,064 mA/mm², 0,072 mA/mm² dan 0,080 mA/mm² terhadap morfologi permukaan lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄ yang dihasilkan melalui proses elektrodposisi ultrasonik pada substrat baja *High Speed Steel* (HSS)?
2. Bagaimana perubahan struktur kristal lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄ akibat perbedaan rapat arus pulsa pada proses elektrodposisi ultrasonik?
3. Bagaimana variasi rapat arus pulsa tersebut memengaruhi tingkat kekerasan lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄ pada substrat baja HSS?

C. Tujuan Masalah

1. Menganalisis pengaruh variasi rapat arus pulsa 0,064 mA/mm², 0,072 mA/mm² dan 0,080 mA/mm² terhadap morfologi permukaan lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄ yang dihasilkan melalui proses elektrodposisi ultrasonik pada substrat baja *High Speed Steel*.
2. Mengidentifikasi perubahan struktur mikro dan karakteristik fasa kristal pada lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄ akibat perbedaan rapat arus pulsa selama proses deposisi.

3. Mengidentifikasi pengaruh variasi rapat arus pulsa terhadap nilai kekerasan lapisan komposit menggunakan metode uji kekerasan Vickers untuk menentukan kondisi deposisi terbaik.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan untuk menentukan parameter proses optimal guna menghasilkan material dengan sifat mekanik unggul, serta menjadi referensi ilmiah mengenai struktur kristal, morfologi, komposisi, dan kekerasan lapisan komposit Ni-AlN/Si₃N₄. Hasilnya diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi pelapisan nikel untuk aplikasi industry di masa mendatang

