

**PEMBENTUKAN DAN KARAKTERISASI
LAPISAN KOMPOSIT Ni-TiN-AlN-Al₂O₃ DENGAN
METODE ELEKTRODEPOSISI ARUS PULSA**

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**



**Rangga Aditya Pratama
1306621026**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2025**

ABSTRAK

Rangga Aditya Pratama. Pembentukan dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodposisi Arus Pulsa. Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Juli 2025.

Penggunaan logam dalam industri terus meningkat karena kekuatannya, namun sifat rentan terhadap korosi dan keausan menuntut perlindungan tambahan. Salah satu solusinya adalah pelapisan komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan lapisan komposit berbasis nikel yang diperkuat partikel keramik TiN, AlN, dan Al₂O₃ guna meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan aus pada substrat tungsten karbida (WC). Metode elektrodposisi pulsa digunakan karena mampu menghasilkan struktur mikro yang halus dan pengendalian pertumbuhan kristal yang lebih baik. Variasi rapat arus pulsa yang digunakan adalah 0,3 mA/mm², 0,4mA/mm², dan 0,5 mA/mm², dengan parameter tetap berupa suhu 40 °C, waktu 30 menit, dan laju pengadukan 600 rpm. Karakterisasi dilakukan melalui analisis *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM–EDS), *X-ray Diffraction* (XRD), serta pengujian kekerasan *mikro-Vickers*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rapat arus pulsa memengaruhi pertumbuhan kristal dan distribusi partikel penguat dalam matriks nikel. Rapat arus 0,4 mA/mm² menghasilkan kristalit nikel yang halus, nilai kekerasan tertinggi, serta morfologi permukaan yang homogen dengan distribusi partikel yang merata dan minim cacat. Pada 0,3 mA/mm², lapisan yang terbentuk menunjukkan permukaan kasar dan distribusi partikel yang tidak seragam, sedangkan pada 0,5 mA/mm² terjadi pertumbuhan partikel berlebih yang menurunkan kekerasan. Dengan demikian, rapat arus 0,4 mA/mm² dinyatakan sebagai kondisi paling efektif dalam proses pelapisan.

Kata kunci: Lapisan komposit Ni-TiN-AlN-Al₂O₃, Elektrodposisi, Rapat arus pulsa, SEM-EDS, XRD, *Hardness Vickers*

ABSTRACT

Rangga Aditya Pratama. Formation and Characterization of Ni-TiN-AlN-Al₂O₃ Composite Coatings Using the Pulse Electrodeposition Method. Undergraduate Thesis, Physics Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Jakarta, July 2025.

The use of metals in industry continues to increase due to their strength; however, their susceptibility to corrosion and wear requires additional protection. One effective solution is the application of composite coatings. This study aims to develop a nickel-based composite coating reinforced with ceramic particles TiN, AlN, and Al₂O₃ to enhance the mechanical properties and wear resistance of tungsten carbide (WC) substrates. The pulse electrodeposition method was employed due to its ability to produce fine microstructures and better control over crystal growth. The current density variations used were 0.3 mA/mm², 0.4 mA/mm², and 0.5 mA/mm², with constant parameters of 40 °C, 30 minutes deposition time, and a stirring rate of 600 rpm. Characterization was conducted using Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy (SEM–EDS), X-ray Diffraction (XRD), and micro-Vickers hardness testing. The results showed that variations in pulse current density influenced crystal growth and the distribution of reinforcement particles within the nickel matrix. A current density of 0.4 mA/mm² produced fine nickel crystallites, the highest hardness value, and a homogeneous surface morphology with well-dispersed particles and minimal defects. At 0.3 mA/mm², the resulting coating exhibited a rough surface and uneven particle distribution, while at 0.5 mA/mm², excessive particle growth occurred, leading to decreased hardness. Therefore, a pulse current density of 0.4 mA/mm² is considered the most effective condition for the electrodeposition process.

Keywords: Ni-TiN-AlN-Al₂O₃ composite coating, Electrodeposition, Pulse current density, SEM-EDS, XRD, Hardness Vickers

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PEMBENTUKAN DAN KARAKTERISASI LAPISAN KOMPOSIT Ni-TiN-AIN- Al_2O_3 DENGAN METODE ELEKTRODEPOSISI ARUS PULSA

Nama : Rangga Aditya Pratama
No. Registrasi : 1306621026

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab		
Dekan : Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si NIP. 19790916 2005011004		12/08 2025
Wakil Penanggung Jawab		
Wakil Dekan I : Dr. Meiliasari, S.Pd., M.Sc NIP. 197905042009122002		12/08 2025
Ketua : Riser Fahdiran, M.Si. NIP. 198307172009121008		30/7 2025
Sekretaris : Siti Julia M.Si NIP. 199205282025062007		31/7 2025
Anggota		
Pembimbing I : Prof. Dr. Esmar Budi, M.T. NIP. 197207281999031002		31/7 2025
Pembimbing II : Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si NIP. 198205262008121001		31/7 2025
Penguji : Dr. Umiatin. M.Si. NIP. 197901042006042001		31/7 2025

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 25 Juli 2025.

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Pembentukan dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodeposisi Arus Pulsa”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, adalah karya ilmiah saya sendiri yang dilakukan dengan arahan dari dosen pembimbing.

Seluruh sumber informasi yang berasal dari penulis lain dan telah dipublikasikan, yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian besar isi skripsi ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik yang telah saya peroleh serta sanksi lain sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Rangga Aditya Pratama
NIM : 1306621026
Fakultas/Prodi : FMIPA / Fisika
Alamat email : rangga.a.pratama.l8@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Pembentukan dan Karakterisasi Lapisan komposit Ni-TiN-AlN-Al₂O₃
dengan Metode Elektrodposisi Arus Pulsa

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta

Penulis

(Rangga Aditya Pratama)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *“Pembentukan dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodeposisi Arus Pulsa”*. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak menerima dukungan, bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Esmar Budi, M.T., selaku dosen pembimbing I, atas bimbingan, arahan, dan ilmu yang sangat berarti selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si., selaku dosen pembimbing II, dosen pembimbing akademik, sekaligus Koordinator Program Studi Fisika, yang telah memberikan arahan, motivasi, dan dukungan akademik serta administratif selama masa studi.
3. Seluruh dosen dan tenaga laboratorium Program Studi Fisika FMIPA UNJ, atas ilmu, bantuan teknis, dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian berlangsung.
4. Kedua orang tua tercinta, atas segala doa, cinta, dukungan moral maupun materiil yang tak pernah putus hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh anggota keluarga besar, atas motivasi dan semangat yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.
6. Seluruh mahasiswa bimbingan Pak Esmar yang selalu kebersamai dari awal penulisan proposal sampai pada skripsi ini selesai.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan Fisika 2021, atas kebersamaan, dukungan, dan semangat selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang material dan teknik pelapisan logam.

Jakarta, 25 Juli 2025



Rangga Aditya Pratama



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SINGKATAN	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelilitian.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃	7
B. Substrat Tungsten Karbida	14
C. Elektrodeposisi	16
D. Rapat Arus Pulsa	20
E. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	24
F. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) dan <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS).....	27
G. <i>Hardness Vickers</i>	28
H. Penelitian yang Relevan	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30
A. Waktu dan Tempat Penelitian	30
B. Metode Penelitian.....	31
1. Alat dan Bahan.....	31

2. Tahapan Penelitian	32
3. Karakterisasi Penelitian.....	37
C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
A. Analisis Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) dan <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	39
B. Analisis Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	48
C. Analisis Hasil Karakterisasi <i>Hardness Vickers</i>	59
BAB V PENUTUP	66
A. Kesimpulan.....	66
B. Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	78
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	115



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Komposisi Komposit	8
Gambar 2. 2. (a) Pola sel satuan struktur kubus pusat muka/sisi (FCC), dan (b) penempatan atom	9
Gambar 2. 3. Karakteristik Titanium Nitrida.	11
Gambar 2. 4. Struktur kristal Wurtzite dari AlN	12
Gambar 2. 5. Struktur kristal Heksagonal Aluminium Oksida (α -Al ₂ O ₃)	14
Gambar 2. 6. Struktur Kristal Tungsten Kabrida (WC).	15
Gambar 2. 7. Pembentukan MMC dengan Elektrodeposisi	18
Gambar 2. 8. (a) Diagram skema bentuk gelombang arus searah dan (b) bentuk gelombang arus pulsa.	21
Gambar 2. 9. Mekanisme arus Pulsa Elektrodeposisi.	24
Gambar 2. 10. Ilustrasi Difraksi Sinar-X	25
Gambar 2. 11. Dimensi Uji Kekerasan Vickers	29
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 3. 2. (a) Grafik hasil pengecekan rangkaian arus pulsa untuk <i>dutycycle</i> 12% menggunakan osiloskop (b) Rangkaian arus pulsa.....	35
Gambar 3. 3. Skema elektrodeposisi arus pulsa.....	36
Gambar 4. 1. Morfologi permukaan lapisan komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada variasi rapat arus: (a) 0,3 mA/mm ² , (b) 0,4 mA/mm ² , dan (c) 0,5 mA/mm ²	39
Gambar 4. 2. Grafik histogram distribusi partikel pada (a) Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ² (b) Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ² (c) Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	42
Gambar 4. 3. Komposisi EDS Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada rapat arus pulsa 0,3 mA/mm ²	44
Gambar 4. 4. Komposisi EDS Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada rapat arus pulsa 0,4 mA/mm ²	44
Gambar 4. 5. Komposisi EDS Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada rapat arus pulsa 0,5 mA/mm ²	45
Gambar 4. 6. Grafik EDS untuk Rapat Arus Pulsa terhadap Persentase Jumlah Atom Unsur.....	46

Gambar 4. 7. Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	49
Gambar 4. 8. Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	49
Gambar 4. 9. Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ pada Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	50
Gambar 4. 10. Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ dengan Variasi Rapat Arus Pulsa	50
Gambar 4. 11. Ukuran Rata-Rata Kristal Nikel, Titanium Nitrida, Alumunium Nitrida, Alumunium Oksida	57
Gambar 4. 12. Grafik Hubungan Rapat Arus Pulsa Terhadap Kekerasan Vickers	61



DAFTAR SINGKATAN

BRIN	: Badan Riset dan Inovasi Nasional
BCC	: <i>Body-Centered Cubic</i>
BHF	: <i>Broadening Half Maximum</i>
CCDA	: <i>Cathodic Current Density Average</i>
H ₃ BO ₃	: <i>Boric Acid</i>
DCE	: <i>Direct Current</i>
FCC	: <i>Face-Centered Cubic</i>
FWHM	: <i>Full Width at Half Maximum</i>
Gpa	: Gigapascal
HV	: <i>Hardness Vickers</i>
IC	: <i>Integrated Circuit</i>
Kgf	: <i>Kilogram-force</i>
LED	: <i>Light Emitting Diode</i>
MMC	: <i>Metal Matrix Composites</i>
NiCl ₂ ·6H ₂ O	: Nickel(II) Chloride Hexahydrate
Ni ₂ SO ₄ ·6H ₂ O	: Nickel(II) Sulfate Hexahydrate
Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃	: Nickel, Titanium Nitride, Aluminium Nitride, dan Aluminium Oxide
PCE	: <i>Pulse Current Electrodeposition</i>
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i>
Redoks	: Reduksi dan Oksidasi
RPM	: <i>Revolutions Per Minute</i>
SEM-EDS	: <i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy</i>
SDS	: <i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>
WC	: <i>Tungsten Carbide</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Karakteristik Nikel	9
Tabel 2. 2. Karakteristik Titanium Nitrida	10
Tabel 2. 3. Karakteristik Aluminium Nitrida.....	12
Tabel 2. 4. Karakteristik Aluminium Oksida.	13
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	30
Tabel 3. 2. Komposisi Bahan Larutan Elektrolit.....	36
Tabel 4. 1. Komposisi Massa dan Jumlah Atom Unsur Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ saat Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	44
Tabel 4. 2. Komposisi Massa dan Jumlah Atom Unsur Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ saat Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	45
Tabel 4. 3. Komposisi Massa dan Jumlah Atom Unsur Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ saat Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	45
Tabel 4. 4. Komposisi EDS lapisan Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃	46
Tabel 4. 5. Data Parameter Kisi dan Struktur Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃	52
Tabel 4. 6. Data FWHM dan Ukuran Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ saat Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	54
Tabel 4. 7. Data FWHM dan Ukuran Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ saat Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	55
Tabel 4. 8. Data FWHM dan Ukuran Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ saat Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	55
Tabel 4. 9. Hasil Perhitungan Derajat Kristalinitas Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃	58
Tabel 4. 10. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,3 mA/mm ² ...	60
Tabel 4. 11. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,4 mA/mm ² ...	60
Tabel 4. 12. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,5 mA/mm ² ...	60
Tabel 4. 13. Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ dengan Variasi rapat arus pulsa	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Rapat Arus Pulsa	78
Lampiran 2. Komposisi bahan larutan elektrolit.....	79
Lampiran 3. Alat dan Bahan	80
Lampiran 4. Kegiatan Penelitian.....	82
Lampiran 5. Data SEM EDS Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	84
Lampiran 6. Data SEM EDS Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	85
Lampiran 7. Data SEM EDS Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	86
Lampiran 8. Pengolahan Distribusi Partikel	87
Lampiran 9. Database Referensi XRD Ni ICSD 98-064-6089	88
Lampiran 10. Database Referensi XRD Ni ICSD 98-064-6090	90
Lampiran 11. Database Referensi XRD Ni ICSD 98-004-3397	92
Lampiran 12. Database Referensi XRD TiN ICSD 98-010-8614.....	94
Lampiran 13. Database Referensi XRD AlN ICSD 98-060-8628	96
Lampiran 14. Database Referensi XRD Al ₂ O ₃ ICSD 98-016-9722	98
Lampiran 15. Hasil Pengolahan XRD Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	102
Lampiran 16. Hasil Pengolahan XRD Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	105
Lampiran 17. Hasil Pengolahan XRD Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN-Al ₂ O ₃ Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	108
Lampiran 18. Pengerjaan Derajat Kristalinitas	111
Lampiran 19. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	112
Lampiran 20. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	112
Lampiran 21. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	112
Lampiran 22. Jejak Identasi Vickers	113