

**STUDI PENGARUH VARIASI RAPAT ARUS PULSA
TERHADAP STRUKTUR DAN SIFAT PELAPISAN
KOMPOSIT Ni-TiN-Al₂O₃ DENGAN METODE
ELEKTRODEPOSISI**

Skripsi

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



**Salsabila Putri Hayati
1306621012**

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

ABSTRACT

SALSABILA PUTRI HAYATI. Study of the Effect of Pulse Current Density Variations on the Structure and Properties of Ni-TiN- Al_2O_3 Composite Coatings via Electrodeposition Method. Undergraduate Thesis, Physics Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Jakarta. July 2025.

In the modern industrial era, metal surface coating has become a crucial solution to enhance resistance against corrosion and wear. Composite coatings that combine nickel (Ni) with reinforcing materials have been extensively developed to improve the mechanical properties and microstructure of surfaces. In this study, titanium nitride (TiN) and aluminum oxide (Al_2O_3) were employed as reinforcing materials in Ni-TiN- Al_2O_3 composite coatings fabricated via pulse electrodeposition. The objective of this research is to investigate the effect of varying pulse current densities on the morphology, composition, crystal structure, and hardness of the resulting composite coatings. The electrodeposition process was conducted at 40°C for 30 minutes using current densities of 0.3 mA/mm^2 , 0.4 mA/mm^2 , and 0.5 mA/mm^2 . Morphological and compositional analyses were performed using SEM-EDS, while crystal structure was examined via X-ray diffraction (XRD), and hardness was measured using the Vickers hardness test. The results revealed that increasing the pulse current density produced smoother surface morphologies. At 0.5 mA/mm^2 , the average particle size increased to $50,000 \text{ nm}$, accompanied by the narrowest size distribution, indicating a more uniform and controlled deposition. The average crystallite size of the three phases showed a decreasing trend with increasing current density, from 75.9 nm at 0.3 mA/mm^2 , dropping sharply to 19.9 nm at 0.4 mA/mm^2 , and rising again to 60.5 nm at 0.5 mA/mm^2 . A similar trend was observed in the hardness values, with the highest hardness of $1018.899 \text{ kgf/mm}^2$ achieved at 0.4 mA/mm^2 , compared to $1016.427 \text{ kgf/mm}^2$ and 781.895 kgf/mm^2 at 0.3 mA/mm^2 and 0.5 mA/mm^2 , respectively. It can be concluded that variations in pulse current density significantly influence the microstructure and hardness of Ni-TiN- Al_2O_3 composite coatings, with the optimal properties obtained at a current density of 0.4 mA/mm^2 .

Keywords: Ni-TiN- Al_2O_3 Composite Coating, Elektrodeposition, Pulse Current Density

ABSTRAK

SALSABILA PUTRI HAYATI. Studi Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa Terhadap Struktur dan Sifat Pelapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodposisi. Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Juli 2025.

Di era industri modern, pelapisan permukaan logam menjadi salah satu solusi penting untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan keausan. Pelapisan komposit yang menggabungkan logam nikel (Ni) dengan material penguat telah banyak dikembangkan untuk memperbaiki sifat mekanik dan mikrostruktur permukaan. Dalam penelitian ini, digunakan titanium nitrida (TiN) dan aluminium oksida (Al₂O₃) sebagai material penguat dalam lapisan komposit Ni-TiN-Al₂O₃ yang dibuat melalui metode elektrodposisi pulsa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi rapat arus pulsa terhadap morfologi, komposisi, struktur kristal, dan kekerasan dari lapisan komposit yang dihasilkan. Proses pelapisan dilakukan pada suhu 40°C selama 30 menit dengan variasi rapat arus sebesar 0,3 mA/mm², 0,4 mA/mm², dan 0,5 mA/mm². Karakterisasi morfologi dan komposisi dilakukan menggunakan SEM-EDS, struktur kristal dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), dan uji kekerasan dilakukan menggunakan metode kekerasan Vickers. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan rapat arus pulsa menghasilkan permukaan yang semakin halus. Hal ini ditunjukkan pada rapat arus 0,5 mA/mm² ukuran rata-rata partikel meningkat menjadi 50.000 nm dengan sebaran yang paling sempit. Kemudian, Ukuran kristal rata-rata dari ketiga fasa menunjukkan tren penurunan seiring meningkatnya rapat arus pulsa. Pada rapat arus 0,3 mA/mm², ukuran kristal mencapai 75,9 nm, kemudian menurun tajam menjadi 19,9 nm pada 0,4 mA/mm², dan kembali meningkat menjadi 60,5 nm saat rapat arus dinaikkan ke 0,5 mA/mm². Nilai kekerasan juga menunjukkan tren serupa, di mana kekerasan tertinggi sebesar 1018,899 kgf/mm² diperoleh pada rapat arus 0,4 mA/mm², sedangkan pada 0,3 mA/mm² dan 0,5 mA/mm² masing-masing sebesar 1016,427 kgf/mm² dan 781,895 kgf/mm². Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi rapat arus pulsa secara signifikan memengaruhi struktur mikro dan kekerasan lapisan komposit Ni-TiN-Al₂O₃, dengan kondisi optimum diperoleh pada rapat arus 0,4 mA/mm².

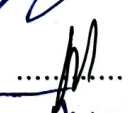
Kata kunci: Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃, Elektrodposisi, Rapat Arus Pulsa

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Studi Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Stuktur dan Sifat Pelapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodeposisi

Nama : Salsabila Putri Hayati

NIM : 1306621012

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Pd. NIP. 197909162005011004	 	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		31/07/2025
Sekretaris	: Siti Julia, M.Si. NIP. 199205282025062007		31/07/2025
Anggota			
Pembimbing I	: Prof. Dr. Esmar Budi, M.T. NIP. 197207281999031002		31/07/2025
Pembimbing II	: Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si. NIP. 198205262008121001		31/07/2025
Penguji	: Dr. Umiatin, M.Si. NIP. 197901042006042001		31/07/2025

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 25 Juli 2025

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “Studi Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Struktur dan Sifat Pelapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodeposisi” 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 dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan dan disebutkan dalam teks skripsi ini telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 25 Juli 2025



METERAI
TEMPEL
C14EEAJX549621356

Salsabila Putri Hayati



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

UPT PERPUSTAKAAN

Kampus Universitas Negeri Jakarta, 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 dibawah ini, saya:

Nama : Salsabila Putri Hayati
NIM : 1306621012
Fakultas/Prodi : Fisika / Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat Email : putrisalsabila2802@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 ☐ Disertas ☐ Lain-lain (.....)

Yang berjudul :

Studi Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Struktur dan Sifat Pelapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodeposisi

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, 13 Agustus 2025
Penulis


Salsabila Putri Hayati

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Struktur dan Sifat Pelapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Metode Elektrodeposisi”**. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Dalam proses pelaksanaan dan penyusunan skripsi tidak terlepas dari berbagai pihak yang memberikan kontribusi serta dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Esmar Budi, M.T. selaku dosen pembimbing I yang dengan bijak membimbing, memberikan wawasan, nasihat, dan arahan dalam kegiatan penelitian.
2. Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si. selaku Koordinator Program Studi Fisika FMIPA UNJ dan dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penelitian.
3. Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat dan arahan selama masa studi.
4. Seluruh Dosen dan Tenaga Kependidikan Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta atas ilmu yang bermanfaat.
5. Seluruh Staf Laboratorium Material Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta yang telah mendampingi kegiatan penelitian.
6. Orang tua (Ayah dan Umi) serta kakak-kakak (Ka Icha & Ka Fira) yang selalu mendoakan, memberi dukungan moril maupun materiil, memotivasi penulis dalam keadaan apapun, dan memberikan kasih sayang yang tak ternilai.
7. Fatimah Haura, Najmi Syahro Fadhlán, dan Fiona Fatiha sahabat seperjalanan yang senantiasa kebersamai, menyemai semangat, dan menjadikan setiap langkah di bangku perkuliahan terasa lebih ringan dan bermakna.

8. Sahabat-sahabat dari grup “Hehe” (Syakila, Hera, Sherly, Meydina, Farhana, Novika, dan Afifa) yang hadir sejak masa SMA menjadi penguat dalam suka dan duka, mengalirkan tawa, semangat dan inspirasi sepanjang perjalanan ini.
9. Teman-teman angkatan 2021 Program Studi Fisika FMIPA UNJ atas dukungan dan motivasi yang diberikan.
10. Orang-orang yang penulis temui yang senantiasa memberikan support dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan studi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka atas kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jakarta, 25 Juli 2025

Salsabila Putri Hayati

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii

LEMBAR PERNYATAAN iii

KATA PENGANTAR..... iv

ABSTRAK vi

ABSTRACT..... vii

DAFTAR ISI viii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL..... xii

DAFTAR SINGKATAN xiii

BAB I PENDAHULUAN 1

 A. Latar Belakang 1

 B. Perumusan Masalah 4

 C. Tujuan Penelitian..... 4

 D. Manfaat Penelitian 5

BAB II KAJIAN PUSTAKA 6

 A. Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ 6

 B. Substrat Tungsten Karbida (WC)..... 9

 C. Elektrodeposisi 11

 D. Rapat Arus Pulsa 14

 E. *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy*
 (SEM - EDS) 16

 F. *X-Ray Diffraction* (XRD)..... 18

 G. Uji Kekerasan Viskers (*Vickers Hardness Test*) 21

 H. Penelitian Relevan..... 22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 25

 A. Tempat dan Waktu Penelitian..... 25

 B. Metode Penelitian..... 25

 C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data 30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 31

 A. Analisis Hasil Karakterisasi SEM – EDS 31

 B. Analisis Hasil Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) 41

 C. Analisis Hasil Karakterisasi Kekerasan Vickers 51

D. Peta Hasil Penelitian 56

BAB V PENUTUP..... 59

A. Kesimpulan 59

B. Saran..... 60

DAFTAR PUSTAKA 61

LAMPIRAN..... 70

DAFTAR RIWAYAT HIDUP 108



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kristal FCC (Nikel) (a) hard-ball model; (b) unit sel dan (c) kristal tunggal dengan beberapa unit sel (PT Tensor, 2024) 7

Gambar 2. 2 Struktur Kristal Titanium Nitrida (ChemicalBook, n.d.) 8

Gambar 2. 3 Struktur Kristal Al₂O₃ (PT Tensor, 2024)..... 9

Gambar 2. 4 Struktur Kristal WC (Fadilah, 2024)..... 10

Gambar 2. 5 Skema Elektrodeposisi (Gupta, 2021).....11

Gambar 2. 6 Elektrodeposisi pada Nanokomposit (Khasanah, 2015) 13

Gambar 2. 7 Grafik Gelombang Pulsa (Fadilah, 2024) 15

Gambar 2. 8 Rangkaian Osilator dengan IC 555 (Triono, 2017)..... 16

Gambar 2. 9 Skema Interaksi antara spesimen dan elektron di dalam SEM (Sujatno dkk., 2015) 17

Gambar 2. 10 Ilustrasi Difraksi Sinar-X (Saputra, 2012) 20

Gambar 2. 11 Skema Prinsip Uji Kekerasan dengan Metode Vickers (Andaru Persada Mandiri, n.d.) 22

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... 27

Gambar 4. 1 Morfologi Permukaan Lapisan Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Rapat Arus Pulsa (a) 0,3 mA/mm², (b) 0,4 mA/mm², dan (c) 0,5 mA/mm² 32

Gambar 4. 2 Histogram Distribusi Ukuran Partikel Lapisan Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Rapat Arus Pulsa (a) 0,3 mA/mm², (b) 0,4 mA/mm², dan (c) 0,5 mA/mm²..... 35

Gambar 4. 3 Komposisi EDS Ni-TiN-Al₂O₃ pada rapat arus pulsa 0,3 mA/mm² 36

Gambar 4. 4 Komposisi EDS Ni-TiN-Al₂O₃ pada rapat arus pulsa 0,4 mA/mm² 37

Gambar 4. 5 Komposisi EDS Ni-TiN-Al₂O₃ pada rapat arus pulsa 0,5 mA/mm² 38

Gambar 4. 6 Grafik Persentase Rapat Arus Pulsa terhadap Jumlah Atom Unsur . 39

Gambar 4. 7 Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ pada Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm² 42

Gambar 4. 8 Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ pada Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm² 42

Gambar 4. 9 Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ pada Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm² 43

Gambar 4. 10 Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-Al ₂ O ₃ dengan Variasi Rapat Arus Pulsa	43
Gambar 4. 11 Ukuran Rata-Rata Kristal Ni, TiN, dan Al ₂ O ₃ terhadap Variasi Rapat Arus Pulsa	49
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Rapat Arus Pulsa Terhadap Kekerasan Vickers	53



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Rencana Kegiatan 25

Tabel 3. 2 Komposisi bahan larutan elektrolit 29

Tabel 4. 1 Komposisi EDS Ni-TiN-Al₂O₃ pada rapat arus pulsa 0,3 mA/mm² 37

Tabel 4. 2 Komposisi EDS Ni-TiN-Al₂O₃ pada rapat arus pulsa 0,4 mA/mm² 37

Tabel 4. 3 Komposisi EDS Ni-TiN-Al₂O₃ pada rapat arus pulsa 0,5 mA/mm² 38

Tabel 4. 4 Komposisi EDS Lapisan Ni-TiN-Al₂O₃..... 38

Tabel 4. 5 Data Parameter Kisi dan Struktur Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ 44

Tabel 4. 6 Data FWHM dan Ukuran Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ pada Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm²..... 46

Tabel 4. 7 Data FWHM dan Ukuran Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ pada Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm²..... 47

Tabel 4. 8 Data FWHM dan Ukuran Kristal Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ pada Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm²..... 47

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Derajat Kristalinitas Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Variasi Rapat Arus Pulsa..... 50

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,3 mA/mm².... 52

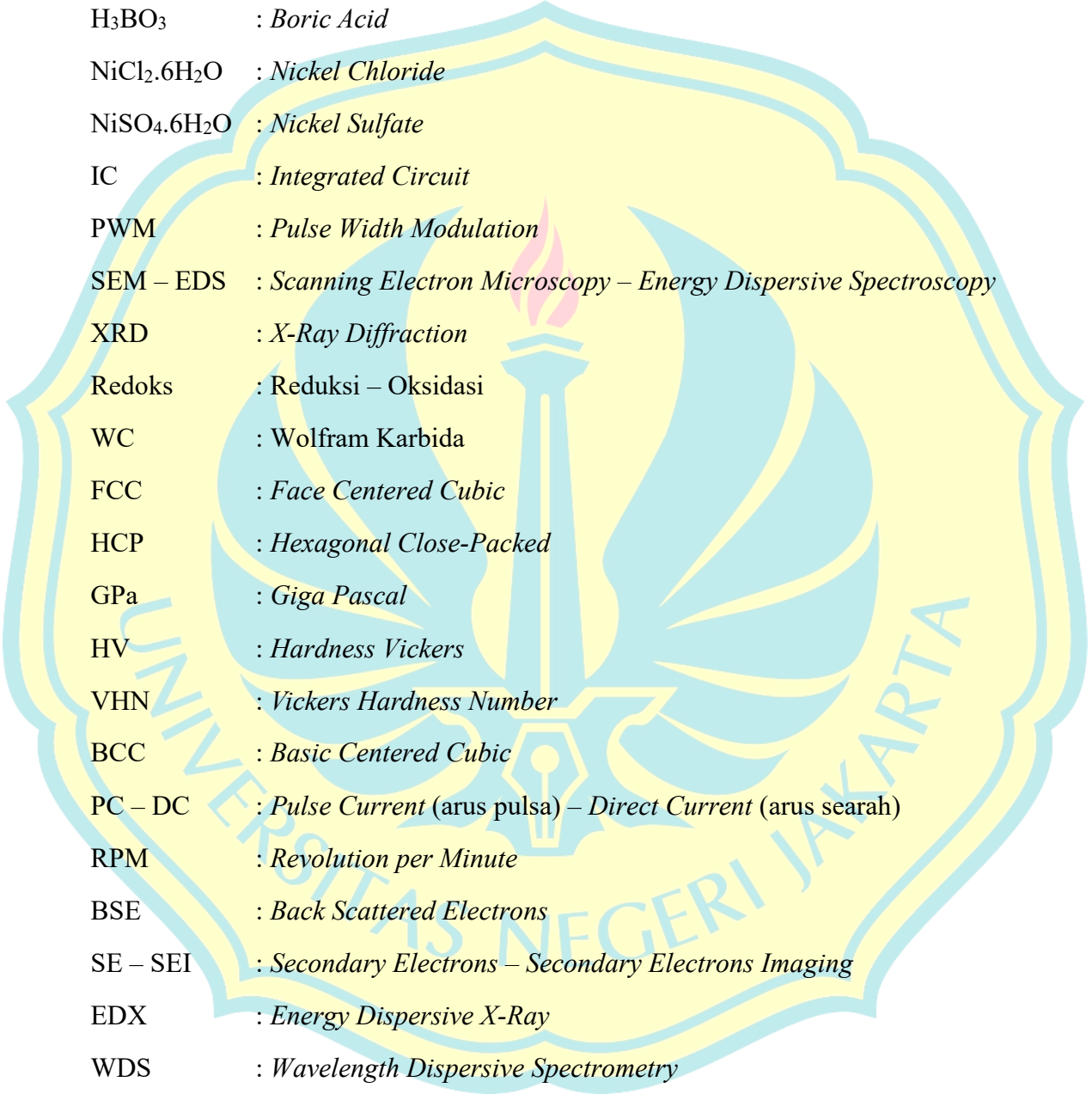
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,4 mA/mm².... 52

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,5 mA/mm².... 52

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Komposit Ni-TiN-Al₂O₃ dengan Variasi Rapat Arus Pulsa 55

Tabel 4. 14 Peta Hasil Penelitian..... 56

DAFTAR SINGKATAN



Ni-TiN-Al ₂ O ₃	: Nikel – Titanium Nitrida – Aluminium Oksida
SDS	: <i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>
H ₃ BO ₃	: <i>Boric Acid</i>
NiCl ₂ .6H ₂ O	: <i>Nickel Chloride</i>
NiSO ₄ .6H ₂ O	: <i>Nickel Sulfate</i>
IC	: <i>Integrated Circuit</i>
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i>
SEM – EDS	: <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>
Redoks	: Reduksi – Oksidasi
WC	: Wolfram Karbida
FCC	: <i>Face Centered Cubic</i>
HCP	: <i>Hexagonal Close-Packed</i>
GPa	: <i>Giga Pascal</i>
HV	: <i>Hardness Vickers</i>
VHN	: <i>Vickers Hardness Number</i>
BCC	: <i>Basic Centered Cubic</i>
PC – DC	: <i>Pulse Current (arus pulsa) – Direct Current (arus searah)</i>
RPM	: <i>Revolution per Minute</i>
BSE	: <i>Back Scattered Electrons</i>
SE – SEI	: <i>Secondary Electrons – Secondary Electrons Imaging</i>
EDX	: <i>Energy Dispersive X-Ray</i>
WDS	: <i>Wavelength Dispersive Spectrometry</i>
LED	: <i>Light Emitting Diode</i>
BRIN	: Badan Riset dan Inovasi Nasional
FWHM	: <i>Full Width Half Maximum</i>