

**Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Komposit  
Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Menggunakan  
Elektrodeposisi Arus Pulsa**

**Skripsi**

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



**Rayyan Albieza Anfana Thoriq  
1306621011**

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

## ABSTRAK

**RAYYAN ALBIEZA ANFANA THORIQ.** Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Menggunakan Elektrodeposisi Arus Pulsa. Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Juli 2025.

Lapisan komposit berbasis nikel dengan penambahan partikel keramik seperti TiN, AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> banyak dikembangkan untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, serta ketahanan korosi material logam dalam aplikasi teknik dan industri. Penelitian ini bertujuan untuk membentuk dan menganalisis lapisan komposit Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dihasilkan melalui metode elektrodeposisi arus pulsa dengan variasi rapat arus. Rapat arus yang digunakan sebesar 0,3 mA/mm<sup>2</sup>, 0,4 mA/mm<sup>2</sup>, dan 0,5 mA/mm<sup>2</sup> selama 30 menit pada suhu 40 °C. Karakterisasi morfologi dan komposisi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM–EDS)*, sedangkan struktur kristal dan ukuran kristal dianalisis melalui *X-Ray Diffraction (XRD)*. Uji kekerasan dilakukan dengan metode Vickers. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rapat arus pulsa menghasilkan morfologi permukaan yang lebih halus, kristal yang lebih besar, dan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Kekerasan tertinggi tercapai pada rapat arus 0,4 mA/mm<sup>2</sup> sebesar 1290 kgf/mm<sup>2</sup>, namun menurun kembali pada 0,5 mA/mm<sup>2</sup>. Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat batas optimal variasi rapat arus dalam menghasilkan lapisan komposit dengan sifat mekanik terbaik.

**Kata kunci:** *Lapisan komposit Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, elektrodeposisi, rapat arus pulsa, morfologi permukaan, struktur kristal, kekerasan vickers*

## ABSTRACT

**RAYYAN ALBIEZA ANFANA THORIQ.** Synthesis and Characterization of Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite Coatings Using Pulse Current Electrodeposition. Undergraduate Thesis, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Jakarta State University. July 2025.

Nickel-based composite coatings with the addition of ceramic particles such as TiN, AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are widely developed to improve the hardness, wear resistance, and corrosion resistance of metallic materials for engineering and industrial applications. This study aims to fabricate and analyze Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings produced using the pulse current electrodeposition method with varying current densities. The applied current densities were 0.3 mA/mm<sup>2</sup>, 0.4 mA/mm<sup>2</sup>, and 0.5 mA/mm<sup>2</sup>, with a deposition duration of 30 minutes at 40 °C. The surface morphology and elemental composition were characterized using Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM–EDS), while the crystal structure and crystallite size were analyzed through X-Ray Diffraction (XRD). Mechanical properties were examined using the Vickers hardness test. The results indicate that increasing the pulse current density leads to a smoother surface morphology, larger crystallite size, and higher hardness. The highest hardness value was achieved at 0.4 mA/mm<sup>2</sup>, reaching 1290 kgf/mm<sup>2</sup>, but decreased at 0.5 mA/mm<sup>2</sup>. These findings suggest that there is an optimal pulse current density range for producing composite coatings with superior mechanical performance.

**Keywords:** *Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coating, electrodeposition, pulse current density, surface morphology, crystal structure, Vickers hardness*

## LEMBAR PENGESAHAN

### Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Menggunakan Elektrodeposisi Arus Pulsa

Nama : Rayyan Albieza Anfana Thoriq

No. Registrasi : 1306621011

#### Penanggung Jawab:

Dekan : Dr. Hadi Nasbey, M.Si.  
NIP. 197909162005011004

Nama



Tanggal

11-08-2025

#### Wakil Penanggung Jawab:

Wakil Dekan I : Dr. Meiliasari, S.Pd., M.Sc.  
NIP. 197905042009122002

11-08-2025

Ketua : Riser Fahdiran, M.Si.  
NIP. 198307172009121008

30-07-2025

Sekretaris : Siti Julia, M.Si.  
NIP. 199205282025062007

31-07-2025

#### Anggota:

Pembimbing I : Prof. Dr. Esmar Budi S.Si., M.T.  
NIP. 197207281999031002

30-07-2025

Pembimbing II : Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si.  
NIP. 198205262008121001

31-07-2025

Penguji Ahli : Dr. Umiatin, M.Si.  
NIP. 197901042006042001

31-07-2025

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 25 Juli 2025.

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Menggunakan Elektrodeposisi Arus Pulsa”** adalah:

1. Dibuat, dikerjakan, dan diselesaikan oleh saya sendiri, komponen seperti data diperoleh dari hasil penelitian pada bulan Januari – Mei 2025 di Laboratorium Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta dan Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Serpong.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi orang lain.
3. Bukan jiplakan karya tulis orang lain.
4. Bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat semata-mata sebagai bentuk pertanggungjawaban bahwa saya siap menanggung segala resiko apabila pernyataan ini ternyata tidak benar.

Jakarta, 19 Juli 2025



Rayyan Albieza Anfana Thoriq



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220  
Telepon/Faksimili: 021-4894221  
Laman: [lib.unj.ac.id](http://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 : Rayyan Albieza Anfana Thoriq  
NIM : 1306621011  
Fakultas/Prodi : FMIPA/Fisika  
Alamat email : [rayyanputh@gmail.com](mailto:rayyanputh@gmail.com)

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

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

yang berjudul :

Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan  
Menggunakan Elektrodeposisi 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 izin 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, 06 Agustus 2025

Penulis

( Rayyan Albieza Anfana Thoriq )

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan anugerahnya, sehingga penulis dapat menulis karya ini dengan menyelesaikannya tepat pada waktunya. Penelitian ini telah disusun dan direncanakan sejak bulan Januari 2025 dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Menggunakan Elektrodeposisi Arus Pulsa”.

Ada suka maupun duka yang saya rasakan saat menulis karya ini. Sebagai penulis, perkenankan saya dengan segala hormat dan rasa bangga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang secara langsung ataupun tidak langsung membantu penyusunan Skripsi ini:

1. Untuk orangtua penulis, terima kasih telah menjadi tempat kembali yang paling tenang, dan suara yang selalu membuat segalanya terasa mungkin. Skripsi ini bukan sekadar hasil kerja keras penulis, tapi bukti nyata bahwa cinta dan doa kalian adalah kekuatan paling ajaib yang tidak bisa dijelaskan oleh logika.
2. Prof. Dr. Esmar Budi S.Si., M.T., selaku Pembimbing I yang telah membimbing, memberi kesediaan meluangkan waktunya, memberi semangat dan sabar dalam mendukung perjalanan penulis selama berkuliah.
3. Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si., selaku Pembimbing II atas kesediaan membimbing langkah demi langkah dan meluangkan waktunya, serta saran masukan lainnya.
4. Seluruh dosen Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta.
5. Manusia pemilik NIM 1306621058. Terima kasih selalu hadir. Kepadamu yang kehadirannya seperti lirik “*There’s something ‘bout you*” dari lagu *The 1975*. Terima kasih telah menjadi tempat kembali, bahkan ketika penulis hilang arah. Terima kasih sudah percaya, bahkan ketika penulis meragukan diri sendiri.
6. Kepada sahabat-sahabat penulis di masa SMA, Andreya, Zufar, Naufal, Fadhillah, Arief, Adit, Eris, Ferdy, Alvin, Alief, khususnya Andreya, Zufar,

Fadhilla, dan Arief, terima kasih atas tawa, perjuangan, dan cerita-cerita sederhana yang diberikan untuk penulis.

7. Kepada sahabat-sahabat penulis di masa kuliah, Rangga, Akmal, Fikri, Marsel, Rosyid, khususnya Rangga dan Akmal, terima kasih atas persahabatan, canda tawa, diskusi panjang yang dilewati bersama penulis.
8. Teman-teman Fisika 2021 dan seperjuangan semasa kuliah penulis di UNJ, terima kasih sudah berjuang bersama dan saling menguatkan.
9. Teruntuk diri sendiri. Terima kasih sudah terus mengeksplor semua hal yang ditakutkan, tidak pernah menyerah, dan tetap memilih terus melangkah. Penulis berjanji, akan bawa Skripsi ini sampai ke Puncak Dewi Anjani di Gunung Rinjani, tempat langit dan tanah bersentuhan, tempat penulis berdiri bukan sebagai seseorang yang jenius, tapi sebagai seseorang yang tidak pernah berhenti. *Taking risks is the best option.*

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna yang mungkin terdapat kekurangan-kekurangan yang terjadi. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun. Harapan penulis semoga karya tulis ini dapat berguna bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya, terutama mahasiswa Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 19 Juli 2025



Rayyan Albieza Anfana Thoriq

## DAFTAR ISI

|                                                                                                     |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....                                                             | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                                                             | ii   |
| LEMBAR PERNYATAAN .....                                                                             | iii  |
| KATA PENGANTAR.....                                                                                 | iv   |
| ABSTRAK .....                                                                                       | vi   |
| ABSTRACT.....                                                                                       | vii  |
| DAFTAR ISI .....                                                                                    | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                                 | x    |
| DAFTAR TABEL.....                                                                                   | xi   |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                                               | 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 TINJAUAN PUSTAKA .....                                                                       | 6    |
| A. Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ..... | 6    |
| B. Substrat Tungsten Karbida (WC).....                                                              | 17   |
| C. Elektrodeposisi.....                                                                             | 19   |
| D. Rapat Arus Pulsa .....                                                                           | 23   |
| E. Karakterisasi.....                                                                               | 25   |
| F. Penelitian Relevan.....                                                                          | 32   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....                                                                  | 34   |
| A. Tempat dan Waktu Penelitian.....                                                                 | 34   |
| B. Metode Penelitian.....                                                                           | 34   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....                                                                    | 48   |
| A. Analisis Hasil Karakterisasi SEM – EDS .....                                                     | 48   |
| B. Analisis Hasil Karakterisasi <i>X – Ray Diffraction (XRD)</i> .....                              | 58   |
| C. Analisis Hasil Karakterisasi Kekerasan Vickers .....                                             | 73   |
| BAB V PENUTUP.....                                                                                  | 81   |
| A. Kesimpulan .....                                                                                 | 81   |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| B. Saran.....             | 82  |
| DAFTAR PUSTAKA.....       | 83  |
| LAMPIRAN.....             | 93  |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... | 133 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Struktur Kristal Nikel.....                                                                                                                                                | 8  |
| Gambar 2.2 Struktur Kristal Titanium Nitrida. ....                                                                                                                                    | 11 |
| Gambar 2.3 Struktur Kristal Wurtzite AlN. ....                                                                                                                                        | 13 |
| Gambar 2.4 (a) Trigonal $\alpha$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , (b) Heksagonal $\beta$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , (c) Kubik $\gamma$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> . .... | 14 |
| Gambar 2.5 Struktur Kristal Mineral Korondum Alumina .....                                                                                                                            | 16 |
| Gambar 2.6 Struktur Kristal Substrat Tungsten Karbida .....                                                                                                                           | 18 |
| Gambar 2.7 Pembentukan MMC Dengan Elektrodeposisi .....                                                                                                                               | 19 |
| Gambar 2.8 (a) Elektrodeposisi Arus Searah, (b) Elektrodeposisi Arus Pulsa ....                                                                                                       | 23 |
| Gambar 2.9 Prinsip Kerja SEM .....                                                                                                                                                    | 27 |
| Gambar 2.10 Difraksi Sinar-X Oleh Atom-Atom Pada Bidang .....                                                                                                                         | 29 |
| Gambar 2.11 Pengujian Kekerasan Vickers. ....                                                                                                                                         | 31 |
| Gambar 3.1 Diagram Skematik Sistem Elektrodeposisi Arus Pulsa.....                                                                                                                    | 38 |
| Gambar 3.2 Sistem <i>Pulse Generator</i> Berbasis Rangkaian PWM IC 555 .....                                                                                                          | 40 |
| Gambar 3.3 Alat Karakterisasi SEM-EDS. ....                                                                                                                                           | 44 |
| Gambar 3.4 Alat Karakterisasi XRD.....                                                                                                                                                | 45 |
| Gambar 3.5 Alat Karakterisasi Vickers .....                                                                                                                                           | 46 |
| Gambar 4.1 Morfologi Permukaan Lapisan Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                                                | 50 |
| Gambar 4.2 Komposisi Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Saat Rapat Arus 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . 53                                            |    |
| Gambar 4.3 Komposisi Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Saat Rapat Arus 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . 54                                            |    |
| Gambar 4.4 Komposisi Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Saat Rapat Arus 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . 55                                            |    |
| Gambar 4.5 Grafik Persentase Rapat Arus Pulsa Terhadap Jumlah Atom Unsur. 56                                                                                                          |    |
| Gambar 4.6 Difraktogram Saat Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                                                                                           | 59 |
| Gambar 4.7 Difraktogram Saat Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                                                                                           | 59 |
| Gambar 4.8 Difraktogram Saat Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                                                                                           | 60 |
| Gambar 4.9 Difraktogram Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                                              | 60 |
| Gambar 4.10 Ukuran Rata-Rata Kristal Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....                                                                  | 69 |
| Gambar 4.11 Grafik Hubungan Rapat Arus Pulsa Terhadap Kekerasan Vickers..                                                                                                             | 74 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik Nikel. ....                                                                                             | 10 |
| Tabel 2.2 Karakteristik Titanium Nitrida. ....                                                                                  | 12 |
| Tabel 2.3 Karakteristik Aluminium Nitrida. ....                                                                                 | 14 |
| Tabel 2.4 Karakteristik Silikon Nitrida. ....                                                                                   | 15 |
| Tabel 2.5 Karakteristik Aluminium Oksida. ....                                                                                  | 16 |
| Tabel 2.6 Karakteristik Tungsten Karbida. ....                                                                                  | 18 |
| Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan. ....                                                                                                 | 34 |
| Tabel 3.2 Komposisi Bahan Larutan Elektrolit. ....                                                                              | 43 |
| Tabel 4.1 Komposisi EDS Saat Rapat Arus 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                                           | 53 |
| Tabel 4.2 Komposisi EDS Saat Rapat Arus 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                                           | 54 |
| Tabel 4.3 Komposisi EDS Saat Rapat Arus 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                                           | 55 |
| Tabel 4.4 Komposisi EDS Lapisan Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . ....                | 56 |
| Tabel 4.5 Data Parameter Kisi & Struktur Kristal ....                                                                           | 62 |
| Tabel 4.6 Data FWHM & Ukuran Kristal Pada Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . .                                           | 66 |
| Tabel 4.7 Data FWHM & Ukuran Kristal Pada Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . .                                           | 66 |
| Tabel 4.8 Data FWHM & Ukuran Kristal Pada Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . .                                           | 67 |
| Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Saat Rapat Arus 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . ....                                       | 73 |
| Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Saat Rapat Arus 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . ...                                       | 74 |
| Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers Saat Rapat Arus 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . ...                                       | 74 |
| Tabel 4.12 Perhitungan Ketebalan Lapisan Komposit Ni-TiN-AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .78 |    |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1. Komposisi Bahan Larutan Elektrolit. ....                                      | 93  |
| Lampiran 2. Perhitungan Rapat Arus. ....                                                  | 94  |
| Lampiran 3. Alat & Bahan Penelitian. ....                                                 | 95  |
| Lampiran 4. Kegiatan Penelitian. ....                                                     | 97  |
| Lampiran 5. Data SEM-EDS Rapat Arus 0.3 mA/mm <sup>2</sup> . ....                         | 98  |
| Lampiran 6. Data SEM-EDS Rapat Arus 0.4 mA/mm <sup>2</sup> . ....                         | 99  |
| Lampiran 7. Data SEM-EDS Rapat Arus 0.5 mA/mm <sup>2</sup> . ....                         | 100 |
| Lampiran 8. Database Referensi XRD Ni ICSD 98-064-6092. ....                              | 101 |
| Lampiran 9. Database Referensi XRD Ni ICSD 98-016-2279. ....                              | 103 |
| Lampiran 10. Database Referensi XRD TiN ICSD 98-015-2807. ....                            | 105 |
| Lampiran 11. Database Referensi XRD AlN ICSD 98-060-8628. ....                            | 107 |
| Lampiran 12. Database Referensi XRD Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ICSD 98-015-6336. .... | 109 |
| Lampiran 13. Database Referensi XRD Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ICSD 98-002-8920. .... | 111 |
| Lampiran 14. Database Referensi XRD Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ICSD 98-016-9722. .... | 113 |
| Lampiran 15. Hasil Pengolahan XRD Rapat Arus 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . ....                | 117 |
| Lampiran 16. Hasil Pengolahan XRD Rapat Arus 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . ....                | 121 |
| Lampiran 17. Hasil Pengolahan XRD Rapat Arus 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . ....                | 125 |
| Lampiran 18. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus 0,3 mA/mm <sup>2</sup> . ....          | 129 |
| Lampiran 19. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus 0,4 mA/mm <sup>2</sup> . ....          | 130 |
| Lampiran 20. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus 0,5 mA/mm <sup>2</sup> . ....          | 131 |
| Lampiran 21. Jejak Indentasi Vickers. ....                                                | 132 |



## DAFTAR SINGKATAN

|                                                                               |   |                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------|
| BSE & SE                                                                      | : | <i>Backscattered Electrons &amp; Secondary Electrons</i>                           |
| BRIN                                                                          | : | Badan Riset dan Inovasi Nasional                                                   |
| BCC                                                                           | : | <i>Body-Centered Cubic</i>                                                         |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                                                | : | <i>Boric Acid</i>                                                                  |
| CMC                                                                           | : | <i>Ceramic Matrix Composites</i>                                                   |
| DC – PC                                                                       | : | <i>Direct Current – Pulse Current</i>                                              |
| FCC                                                                           | : | <i>Face-Centered Cubic</i>                                                         |
| FWHM                                                                          | : | <i>Full Width Half Maximum</i>                                                     |
| GPa                                                                           | : | <i>Giga Pascal</i>                                                                 |
| HV                                                                            | : | <i>Hardness Vickers</i>                                                            |
| IC                                                                            | : | <i>Integrated Circuit</i>                                                          |
| LED                                                                           | : | <i>Light Emitting Diode</i>                                                        |
| MMC                                                                           | : | <i>Metal Matrix Composite</i>                                                      |
| MPa                                                                           | : | <i>Mega Pascal</i>                                                                 |
| NiCl <sub>2</sub>                                                             | : | <i>Nickel (II) Chloride Hexahydrate</i>                                            |
| Ni <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                               | : | <i>Nickel (II) Sulfate Hexahydrate</i>                                             |
| Ni-TiN-<br>AlN/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | Nikel – Titanium Nitrida – Aluminium Nitrida/Silikon<br>Nitrida – Aluminium Oksida |
| PMC                                                                           | : | <i>Polymer Matrix Composites</i>                                                   |
| PWM                                                                           | : | <i>Pulse Width Modulation</i>                                                      |
| RPM                                                                           | : | <i>Revolution per Minute</i>                                                       |
| SEM-EDS                                                                       | : | <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>           |
| TMC                                                                           | : | <i>Transition Metal Carbide</i>                                                    |
| WC                                                                            | : | Tungsten Karbida                                                                   |
| WDS                                                                           | : | Wavelength Dispersive Spectrometry                                                 |
| XRD                                                                           | : | <i>X-Ray Diffraction</i>                                                           |