

**PENGARUH VARIASI RAPAT ARUS PULSA
TERHADAP PEMBENTUKAN DAN SIFAT MEKANIK
LAPISAN KOMPOSIT $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ DENGAN
METODE ELEKTRODEPOSISI**

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains**



**Najmi Syahro Fadhlan
1306621024**

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

ABSTRAK

NAJMI SYAHRO FADHLAN. Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Pembentukan dan Sifat Mekanik Lapisan Komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ dengan Metode Elektrodposisi. Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Juli 2024.

Dengan menggunakan metode elektrodposisi dan variasi rapat arus pulsa, pembentukan lapisan komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ pada substrat tungsten karbida (WC) menunjukkan hasil hubungan antara variasi rapat arus pulsa terhadap pembentukan dan sifat mekanik lapisan komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄. Elektrodposisi dilakukan selama 30 menit dengan temperatur 40 °C dan kecepatan pengadukan 600 rpm. Variasi rapat arus yang digunakan, yaitu 0,3 mA/mm², 0,4 mA/mm², dan 0,5 mA/mm². Pengujian SEM-EDS menunjukkan semakin tinggi variasi rapat arus pulsa menghasilkan morfologi permukaan lapisan komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ yang semakin halus walaupun terdapat aglomerasi. Pengujian XRD menunjukkan semakin tinggi variasi rapat arus pulsa menghasilkan ukuran kristal pada fasa penyusun lapisan komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ yang semakin besar. Pengujian kekerasan Vickers menunjukkan semakin tinggi variasi rapat arus pulsa menghasilkan kekerasan lapisan komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ yang semakin meningkat pada variasi rapat arus optimal 0,4 mA/mm² sebesar 1277,865 kgf/mm².

Kata kunci: Komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄, Elektrodposisi, Rapat Arus Pulsa, Morfologi, Komposisi, Struktur Kristal, Kekerasan Vickers.

ABSTRACT

NAJMI SYAHRO FADHLAN. The Effect of Pulse Current Density Variation on the Formation and Mechanical Properties of Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ Composite Coatings Using the Electrodeposition Method. Undergraduate Thesis, Physics Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Jakarta. July 2024.

Using the electrodeposition method and variations in pulse current density, the formation of Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ composite coatings on tungsten carbide (WC) substrates demonstrates the relationship between pulse current density variations and the formation and mechanical properties of the Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ composite layer. Electrodeposition was carried out for 30 minutes at a temperature of 40 °C and a stirring speed of 600 rpm. The current density variations used were 0.3 mA/mm², 0.4 mA/mm², and 0.5 mA/mm². SEM-EDS testing showed that increasing the pulse current density resulted in a smoother surface morphology of the Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ composite layer, although some agglomeration was observed. XRD analysis indicated that higher pulse current densities led to larger crystallite sizes in the phases composing the Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ composite layer. Vickers hardness testing revealed that increasing the pulse current density improved the hardness of the Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ composite layer, with the optimal current density of 0.4 mA/mm² achieving a hardness of 1277,865 kgf/mm².

Keywords: Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ Composite, Electrodeposition, Pulse Current Density, Morphology, Composition, Crystal Structure, Vickers Hardness.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Pembentukan dan Sifat Mekanik Lapisan Komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ dengan Metode Elektrodeposisi

Nama : Najmi Syahro Fadhlani

NIM : 1306621024

Nama



Tanggal

Penanggung Jawab

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

12/08/2025

Wakil Penanggung Jawab

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

12/08/2025

Ketua : Prof. Dr. Erfan Handoko, M.Si.
NIP. 197302012003121002

04/08/2025

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. Anggara Budi Susila, M.Si.
NIP. 196010011992031001

01/08/2025

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 24 Juli 2025.

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Pembentukan dan Sifat Mekanik Lapisan Komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ 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 yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

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

Jakarta, 24 Juli 2025



Najmi Syahro Fadhlhan



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 : Najmi Syahro Fadhlan
NIM : 1306621024
Fakultas/Prodi : Fisika / Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat Email : najmi.fadhlan@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 :

Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Pembentukan dan Sifat Mekanik Lapisan
Komposit Ni- $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ 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

Najmi Syahro Fadhlan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Rapat Arus Pulsa terhadap Pembentukan dan Sifat Mekanik Lapisan Komposit Ni-Al₂O₃/Si₃N₄ dengan Metode Elektrodposisi”. 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 tidak terlepas dari berbagai pihak yang memberikan kontribusi serta dukungan. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Esmar Budi, M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan wawasan, nasihat, dan arahan dalam kegiatan penelitian.
2. Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si. selaku dosen pembimbing II, Koordinator Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, dan dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan masukan selama masa studi dan penelitian.
3. Seluruh dosen, dan tenaga kependidikan Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta yang membantu penulis selama masa studi.
4. Staf Laboratorium Material Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta yang membantu penulis selama penelitian.
5. Orang tua (Bapak Marwan dan Ibu Cica Farida), adik-kakak (Juliana Aviawan, Arjuna Firdaus, dan Royan Zulaikha), Keinarra dan Keifano yang selalu mendoakan, mendukung, dan menemani penulis.
6. Pribadi yang tidak dapat disebutkan namanya namun senantiasa menemani, mendukung, dan kebersamai penulis sejak 5 januari 2018.
7. Fiona Fatiha, Fatimah Haura, Salsabila Putri Hayati selaku sahabat dan teman-teman fisika angkatan 2021 dan 2020 yang senantiasa kebersamai selama masa studi.

8. Semua individu yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah 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 dimasa yang akan datang.

Jakarta, 24 Juli 2025

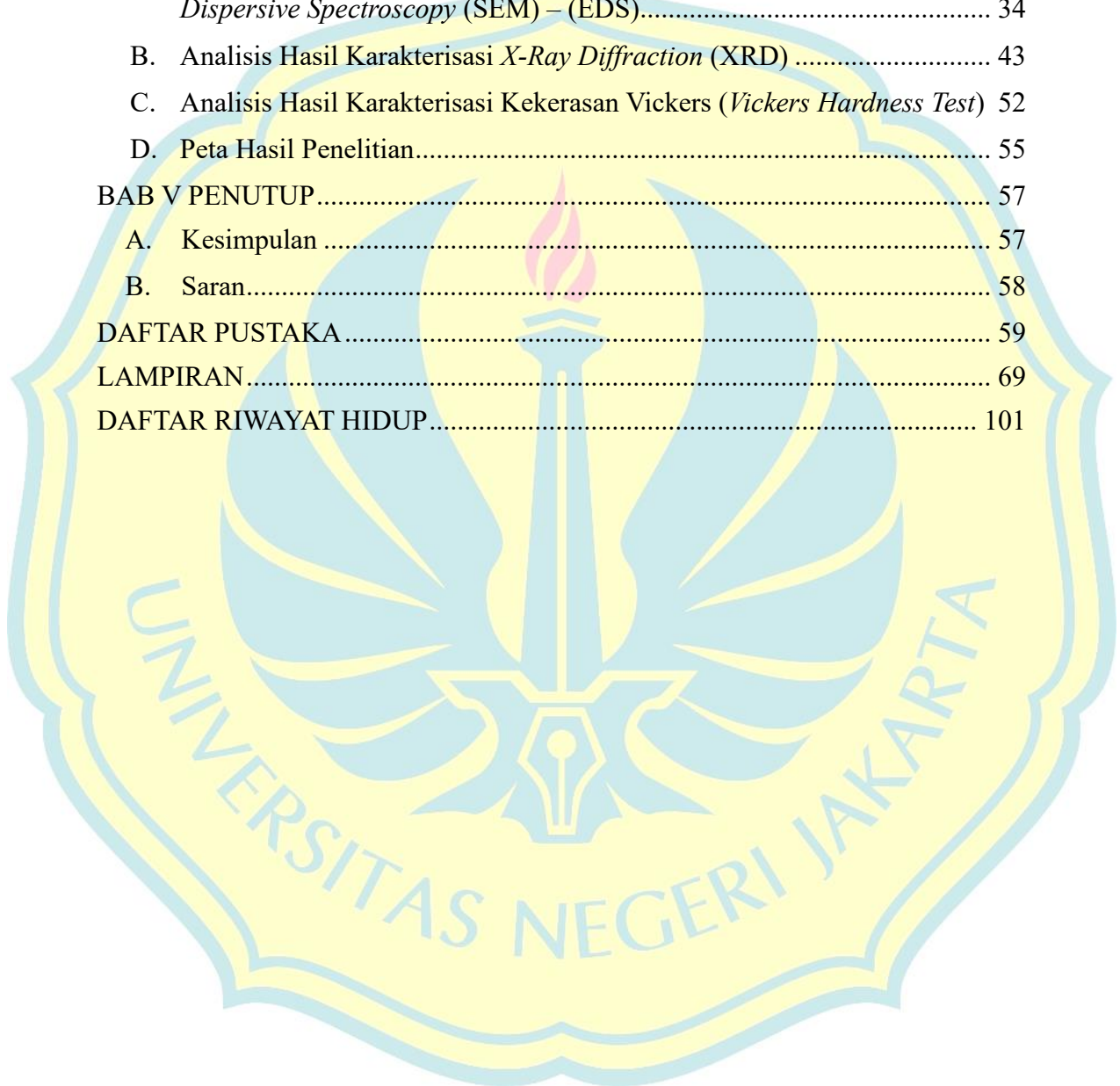
Najmi Syahro Fadhlán



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR SINGKATAN	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. Lapisan Komposit Ni-Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄	6
1. Nikel (Ni)	7
2. Aluminium Oksida atau Alumina (Al ₂ O ₃)	8
3. Silikon nitrida (Si ₃ N ₄)	9
B. Tungsten Karbida atau <i>Wolfram Carbide</i> (WC).....	11
C. Metode Elektrodeposisi.....	12
D. Rapat Arus Pulsa	16
E. Pengujian Karakterisasi Sampel.....	19
1. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)	20
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	22
3. Uji Kekerasan Vickers (Vickers Hardness Test)	25
F. Penelitian Relevan.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28

A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
B. Metode Penelitian.....	28
C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Analisis Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM) – (EDS).....	34
B. Analisis Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	43
C. Analisis Hasil Karakterisasi Kekerasan Vickers (<i>Vickers Hardness Test</i>)	52
D. Peta Hasil Penelitian.....	55
BAB V PENUTUP.....	57
A. Kesimpulan	57
B. Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN.....	69
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	101



DAFTAR SINGKATAN



Ni-AL ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄	: Nikel – Aluminium Oksida / Silikon Nitrida
IC	: Integrated Circuit
PWM	: Pulse Width Modulation
SEM – EDS	: Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy
XRD	: X-Ray Diffraction
Redoks	: Reduksi – Oksidasi
PMCs	: Polymer Matrix Composites
CMCs	: Ceramic Matrix Composites
MMCs	: Metal Matrix Composite
WC	: Tungsten Karbida
FCC	: Face Centered Cubic
GPa	: Giga Pascal
MPa	: Mega Pascal
HV	: Hardness Vickers
HPC	: Hexagonal Close Packed
BSE	: Back Scattered Electrons
SE	: Secondary Electrons
EDX	: Energy Dispersive X-Ray
BRIN	: Badan Riset dan Inovasi Nasional
BATAN	: Badan Tenaga Nuklir Nasional
FWHM	: Full Width Half Maximum
LED	: Light Emitting Diode

DAFTAR TABEL

No	Halaman
Tabel 3.1 Tabel Rencana Kegiatan	28
Tabel 3.2 Komposisi Bahan Larutan Elektrolit	32
Tabel 4.1 Komposisi EDS Ni-Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄ pada Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	39
Tabel 4.2 Komposisi EDS Ni-Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄ pada Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	40
Tabel 4.3 Komposisi EDS Ni-Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄ pada Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	41
Tabel 4.4 Komposisi EDS Lapisan Ni-Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄	41
Tabel 4.5 Data Parameter Kisi dan Struktur Kristal Lapisan Komposit	47
Tabel 4.6 Data FWHM dan Ukuran Kristal pada Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	48
Tabel 4.7 Data FWHM dan Ukuran Kristal pada Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	48
Tabel 4.8 Data FWHM dan Ukuran Kristal pada Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	49
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	52
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	52
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers saat Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	52
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan dengan Variasi Rapat Arus	55
Tabel 4.13 Peta Hasil Penelitian	55

DAFTAR GAMBAR

No	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Kristal Nikel	7
Gambar 2.2 Struktur Kristal Alumina	9
Gambar 2.3 Struktur Kristal Silikon Nitrida	11
Gambar 2.4 Struktur Kristal Tungsten	12
Gambar 2.5 Analogi Bahan Komposit	13
Gambar 2.6 Perbedaan Arus Searah dengan Arus Pulsa	18
Gambar 2.7 Rangkaian Osilator dengan IC 555	19
Gambar 2.8 Skema Dasar SEM	20
Gambar 2.9 Diagram Interaksi Elektron dalam SEM	21
Gambar 2.10 Diagram Prinsip Kerja EDS	21
Gambar 2.11 Skema Hukum Bragg Proses Difraksi Sinar-X	23
Gambar 2.12 Diagram Skema Alat Uji Kekerasan Vickers	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1 Morfologi Permukaan Lapisan Ni-Al ₂ O ₃ /Si ₃ N ₄	35
Gambar 4.2 Histogram Distribusi Partikel Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	37
Gambar 4.3 Histogram Distribusi Partikel Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	37
Gambar 4.4 Histogram Distribusi Partikel Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	38
Gambar 4.5 Komposisi EDS Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	39
Gambar 4.6 Komposisi EDS Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	40
Gambar 4.7 Komposisi EDS Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	40
Gambar 4.8 Grafik Rapat Arus Pulsa terhadap Komposisi Atom	41
Gambar 4.9 Difaktogram Lapisan Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	44
Gambar 4.10 Difaktogram Lapisan Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	44
Gambar 4.11 Difaktogram Lapisan Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	45
Gambar 4.12 Difaktogram Lapisan dengan Variasi Rapat Arus Pulsa	45
Gambar 4.13 Ukuran Rata-rata unsur penyusun terhadap Rapat Arus Pulsa	49
Gambar 4.14 Grafik Rapat Arus Pulsa terhadap Kekerasan Vickers	53

DAFTAR LAMPIRAN

No	Halaman
Lampiran 1. Komposisi Bahan Larutan Elektrolit	69
Lampiran 2. Perhitungan Rapat Arus	70
Lampiran 3. Alat dan Bahan	71
Lampiran 4. Kegiatan Penelitian.....	72
Lampiran 5. Pengolahan Data Hasil Pengujian SEM menggunakan ImageJ	73
Lampiran 6. Data SEM-EDS Lapisan Rapat Arus Pulsa 0,3 mA/mm ²	74
Lampiran 7. Data SEM-EDS Lapisan Rapat Arus Pulsa 0,4 mA/mm ²	75
Lampiran 8. Data SEM-EDS Lapisan Rapat Arus Pulsa 0,5 mA/mm ²	76
Lampiran 9. Database Referensi XRD Ni ICSD 98-064-6092.....	77
Lampiran 10. Database Referensi XRD Al ₂ O ₃ ICSD 98-017-3717.....	80
Lampiran 11. Database Referensi XRD Si ₃ N ₄ ICSD 98-007-9798	83
Lampiran 12. Hasil Pengolahan XRD Lapisan Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	87
Lampiran 13. Hasil Pengolahan XRD Lapisan Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	90
Lampiran 14. Hasil Pengolahan XRD Lapisan Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	93
Lampiran 15. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	96
Lampiran 16. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	96
Lampiran 17. Perhitungan Ukuran Kristal Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	96
Lampiran 18. Jejak Indentasi Vickers Lapisan Rapat Arus 0,3 mA/mm ²	97
Lampiran 19. Jejak Indentasi Vickers Lapisan Rapat Arus 0,4 mA/mm ²	98
Lampiran 20. Jejak Indentasi Vickers Lapisan Rapat Arus 0,5 mA/mm ²	99
Lampiran 21. Dokumentasi Sampel Terdeposisi.....	100