

**Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN  
pada Substrat Tungsten Karbida**

**SKRIPSI**

Disusun Untuk Melengkapi Syarat-syarat  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**Disusun oleh :**

**Maulidatul Khasanah**

**3225111277**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**



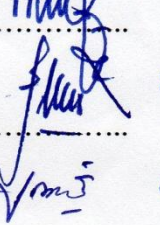
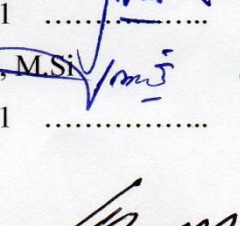
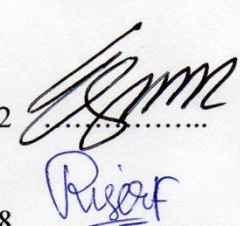
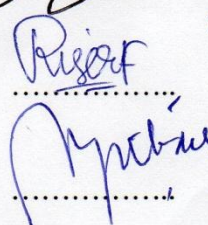
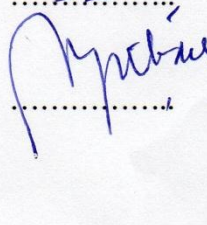
**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2015**

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

“Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN pada Substrat Tungsten Karbida”

Nama : Maulidatul Khasanah  
No. Registrasi : 3225111277

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Penanggung Jawab</u>		
Dekan : Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005		20/7 2015
<u>Wakil Penanggung Jawab</u>		
Pembantu Dekan I : Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001		28/7 2015
Ketua : Drs. Anggara Budi Susila, M.Si NIP. 19601001 199203 1 001		28/7 2015
Sekretaris : Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si NIP. 19770510 200604 2 001		28/7 2015
<u>Anggota</u>		
Pembimbing I : Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 19720728 199903 1 002		27/7 2015
Pembimbing II : Riser Fahdiran, M.Si NIP. 19830717 200912 1 008		28/7 2015
Penguji : Dr. Mutia Delina, M.Si NIP. 19801119 200801 2 007		27/7 2015

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal : 8 Juli 2015

## ABSTRAK

Maulidatul Khasanah. Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN pada Substrat Tungsten Karbida. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Jakarta.

Telah dilakukan pembentukan lapisan tipis komposit elektrodeposisi Ni-TiAlN pada batang tungsten karbida. Sejumlah 6 gr/liter masing-masing serbuk TiN dan AlN ditambahkan kedalam larutan elektrolit yang terdiri dari 0.38 M  $\text{Ni}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.17 M  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , dan 0.49 M  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Percobaan dilakukan dengan sistem elektrodeposisi sederhana yang terdiri dari rangkaian power supply, gelas kimia, kabel, resistor, larutan elektrolit dan elektroda. Elektrodeposisi dilakukan pada arus sebesar 2, 3 dan 4 mA selama 25 menit. Hasil penelitian menunjukkan sampel pada arus 4 ma memiliki struktur kristal FCC, morfologi paling halus, komposisi nikel paling banyak dan laju korosi paling kecil.

**Kata Kunci:** *Lapisan Tipis Ni-TiAlN, desain sistem elektrodeposisi, morfologi, struktur kristal, laju korosi*

## ABSTRACT

Maulidatul Khasanah. Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN pada Substrat Tungsten Karbida. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Jakarta.

*Has been done the formation a thin layer of composite elektrodeposisi Ni-tungsten carbide rods on TiAlN.. Amount of 6 gr/liter of TiN and AlN powders were added into the electrolyte solution that consists of 0.38 M  $Ni_2SO_4 \cdot 6H_2O$ , 0.17 M  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ , 0.49 M  $H_3BO_3$  and 0,06 gr/l Sodium Dodecyl Sulfat (SDS). The experiment was performed with autonomous electrodeposition system because the device completed with potentiostat is expensive. Electrodeposiyon system is consist of power suply, cable, resistor, electrolyte solution, and electrode. Electrodeposition was do in current of 3mA for about 25 minutes. The results showed the samples on a current of 4 ma have a FCC crystal structure, most subtle morphology, most nickel composition and most small corrosion rate*

**Keywords:** *Ni-TiAlN composite film, electrodeposition, desain of electrodeposition system, morphology, crystal structure, corrosion rate.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kepada ALLAH SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN pada Substrat Tungsten Karbida”** dengan baik. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar sarjana sains di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta. Dalam penyelesaian laporan penelitian ini tidak terlepas dari adanya do’a, motivasi, bimbingan, kritik, dan saran dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Anggara Budi Susila, M.Si selaku ketua jurusan Fisika FMIPA, UNJ,
2. Dr. Esmar Budi, M.T selaku ketua program studi Fisika FMIPA, UNJ dan Dosen Pembimbing I yang telah memberi banyak dukungan, arahan dan bimbingan.
3. Riser Fahdiran, M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah banyak memberi bimbingan.
4. Semua dosen di jurusan Fisika yang telah memberi banyak ilmu kepada penulis serta Mbak Murni selaku admin di jurusan.
5. Orang Tua dan kakak – kakak yang selalu memberi doa, dukungan baik riil maupun materiil.
6. Teman-teman yaitu Shinta, Anita, Fitri, Tisya, Adelina, Muarief, Erlina, Lara dan Hanif yang selalu membantu penulis saat sedang kesulitan

7. Lara, Ellin, Ayu, Levi, Dede, Nunu, Thia, Tsaniya, Anggita, Ridho, Eka, Fiky, Romi, Agung, Galih, Zola, Andre, Andra, Udin, Andi, Dani, Joko, Bambang dan semua teman seangkatan yang selalu menjadi tempat berbagi suka dan duka

Penulis yakin dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan maupun kesalahan, baik mengenai isi materi, cara penyajian, serta teknis penulisan, karena hal ini tidak lepas dari kekurangan dan keterbatasan Penulis. Oleh karena itu, Penulis mohon maaf yang sebesar – besarnya atas kekurangan tersebut dan sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan penelitian lebih lanjut.

Jakarta, 2 Juli 2015

Penulis

## MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN

Sayangilah orang yang ada di sampingmu, kelak saat mereka tiada, kau tak kan mampu memanggilnya lagi.

Nikmati proses yang sedang kau jalani, kelak bila waktu telah berlalu, kau tak kan sanggup mengulangnya.

*La Tahzan, Innalaha Ma 'Ana*

*Inna Maal Usri Yusro*

Saat jenuh, ingatlah wajah orang tua dan bayaran semester 9

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua tercinta, Bapak Nur Sahli, Ibu Nasikah, perjuangann kalian tak akan pernah terbayar dengan apapun.
2. Mbak Nur, Mas Udin, Mbak Rohmah, Mas Doel dan Mbak Ratna, kehadiran kalian begitu berharga
3. Masa depan yang menantiku
4. Para peneliti Indonesia

## DAFTAR ISI

Pengesahan	
Abstrak	i
Kata Pengantar	iii
Motto dan Halaman Persembahan	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Perumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. Lapisan Tipis Ni-TiAlN	6
2.2. Struktur Kristal	8
2.3. Proses Elektrodposisi	10
2.4. Tungsten karbida	16
2.5. Desain Sistem Elektrodposisi	17
2.6. Pengujian Sample	19
2.7. Korosi	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>25</b>
3.1. Metode Penelitian	25
3.2. Bahan dan Alat Penelitian	25



3.3.	Prosedur Penelitian	26
3.4.	Diagram Alir Penelitian	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		<b>31</b>
4.1.	Preparasi Larutan dan Alat	31
4.2.	Karakterisasi Lapisan Tipis NiTiAlN	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>49</b>
A.	Kesimpulan	49
B.	Saran	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>50</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Model skema struktur TiAlN	8
Gambar 2.2. Skema Elektrodeposisi	11
Gambar 2.3. Elektrodeposisi pada nano komposit	12
Gambar 2.4. Mekanisme Kerja SEM	22
Gambar 3.1. Desain Sistem Elektrodeposisi	28
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1. Senyawa $\text{Ni}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_3\text{BO}_3$ , AlN, dan TiN	32
Gambar 4.2. Uji coba variasi arus	33
Gambar 4.3. Desain Proses Elektrodeposisi Dua Elektroda	34
Gambar 4.4 Rangkaian alat elektrodeposisi sederhana dua elektroda	35
Gambar 4.5 Hasil elektrodeposisi	35
Gambar 4.6. Substrat Tungsten Karbida yang terlapisi NiTiAlN pada variasi arus	36
Gambar 4.7. Morfologi substrat WC murni dan pada variasi arus	38
Gambar 4.8. Analisis EDS substrat WC	39
Gambar 4.9. Efek rapat arus pada partikel lapisan tipis NiTiAlN	41
Gambar 4.10. Grafik Intensitas vs 2 teta pada sampel 2 mA	42
Gambar 4.11. Grafik Intensitas vs 2 teta pada sampel 3 mA	43
Gambar 4.12. Grafik Intensitas vs 2 teta pada sampel 4 mA	43
Gambar 4.13. Uji Korosi	45
Gambar 4.14. Hubungan Variasi Arus dengan Massa Substrat Pada Uji Korosi	46
Gambar 4.15. Hubungan Variasi Arus dengan Laju Korosi	46

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Tabel Penentuan Struktur Kristal	9
Tabel 3.1. Bahan – bahan komposisi elektrolit	27
Tabel 4.1. Berat larutan elektrolit yang digunakan	31
Tabel 4.2. Jumlah massa Substrat Sebelum dan Sesudah proses elektrodposisi	37
Tabel 4.3. Kuantitas Ni, Ti, dan Al pada variasi arus 2, 3, dan 4 mA	40
Tabel.4.4 Jumlah massa Substrat Sebelum dan Sesudah Uji Korosi	45

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Industri logam di Indonesia saat ini maju dengan sangat pesat termasuk berbagai alat pendukungnya. Perkembangan teknologi material telah melahirkan suatu material – material jenis baru yang dibuat dari gabungan dua atau lebih material yang berbeda. Untuk memenuhi kebutuhan pokok/komponen yang handal, material jenis baru dikembangkan agar memiliki sifat ringan dan juga sifat mekanis yang tinggi, seperti kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), tahan aus, dan tahan korosi serta panas yang tinggi. Untuk menjaga ketahanan logam dari korosi dan karat serta meningkatkan sifat mekanik di atas adalah dengan pemberian lapisan tipis nanokomposit. Sifat yang sangat baik dari lapisan nanokomposit menjanjikan keuntungan untuk aplikasi industri seperti pada *cutting tool* <sup>[1-3]</sup>. Oleh karena itu, penelitian terhadap lapisan tipis nanokomposit banyak dilakukan di ranah internasional<sup>[4]</sup>. Salah satu industri yang bergerak dalam bidang pelapisan logam atau pembentukan lapisan tipis nanokomposit adalah industri electroplating / elektrodeposisi.

Tungsten pada aplikasi industri yang banyak digunakan sebagai *cutting tool* perlu diberikan pelapis agar dapat bertahan lama. Pemberian lapisan tipis nanokomposit pada permukaan tungsten adalah solusi yang tepat. Dibandingkan dengan teknik lain untuk mensintesis lapisan tipis

nanokomposit, elektrodeposisi memiliki banyak keuntungan seperti kondisi operasi mudah dikontrol, kebutuhan energi yang rendah, tingkat deposisi cepat, *set-up* peralatan sederhana, perawatan peralatan mudah, memiliki biaya yang lebih murah, fleksibilitas, dan tingkat produksi yang tinggi<sup>[5]</sup>. Elektrodeposisi merupakan suatu teknik pelapisan dengan cara elektrolisis. Pelapisan terjadi dari reaksi redoks antar elektroda yang diberi beda potensial dengan menggunakan media elektrolit.

Pada proses elektrodeposisi, Nikel banyak digunakan untuk bahan rekayasa yang bertindak sebagai matriks logam. Lapisan tipis nanokomposit dari matriks logam mengandung partikel penguat yang terdispersi di dalamnya. Biasanya matriks ini mempunyai berbagai sifat khusus seperti pengerasan, tahan terhadap suhu tinggi, gesekan, dan korosi<sup>[6]</sup>. Dalam perkembangannya, partikel penguat berupa transisi logam nitride seperti Titanium Nitrida (TiN) dan Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) adalah yang terbaik sebagai peubah sifat mekanik dan resistensi korosi<sup>[7-9]</sup>. Akan tetapi, dalam perkembangannya TiAlN kurang diminati padahal TiAlN unggul dalam peningkatan ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi yang dikarenakan pembentukan lapisan aluminium-oksida pelindung berada di permukaan, waktu pengerasan lapisan yang berada pada suhu stabil dengan rentang suhu yang luas, dan juga peningkatan kekerasan dalam lapisan tipis karena perubahan struktur mikro serta pengerasan yang menghasilkan struktur padat<sup>[10]</sup>.

Diperlukan desain sistem elektroplating sederhana agar penelitian dapat dilakukan dengan mudah. Bahan penyangga yang dipilih adalah logam yang digunakan sebagai anoda tak larut dan tidak mudah korosi yaitu platina dan sebagai bahan pelapis adalah TiAlN. Berdasarkan latar belakang seperti di atas, penulis melakukan penelitian dengan judul “ Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN Pada Substrat Tungsten Karbida” Dari desain ini diharapkan mampu membuat standar alat elektrodeposisi yang ramah lingkungan dan terjangkau.

### **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat diidentifikasi masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem elektrodeposisi buatan dapat membuat lapisan tipis nanokomposit Ni-TiAlN pada substrat tungsten karbida (WC)?
2. Berapa massa lapisan tipis nanokomposit Ti-NiAlN yang telah terbentuk pada substrat tungsten karbida (WC)?
3. Bagaimana struktur, komposisi dan morfologi lapisan tipis nanokomposit Ti-NiAlN?
4. Bagaimana pengaruh variasi arus terhadap ketahanan korosi yang terbentuk?

### **1.3. Pembatasan Masalah**

Penelitian ini akan dibatasi pada pendeposisian lapisan tipis Ni-TiAlN dengan bermacam variasi arus menggunakan metode elektodeposisi pada substrat tungsten karbida. Sampel yang sudah terlapisi kemudian di

karakteristik dengan SEM, EDS dan XRD untuk melihat bentuk morfologi, komposisi dan struktur lapisan. Setelah itu dilaksanakan pengujian terhadap ketahanan korosi pada lapisan tipis yang terbentuk.

#### **1.4. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi arus terhadap morfologi, komposisi dan struktur kristal lapisan tipis Ni-TiAlN menggunakan metode elektrodposisi serta pengaruhnya terhadap ketahanan korosi.

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain sistem elektrodposisi
2. Mengetahui massa lapisan tipis nanokomposit Ni-TiAlN pada substrat tungsten karbida
3. Menentukan struktur, komposisi dan morfologi lapisan tipis nanokomposit Ti-NiAlN
4. Mengetahui tingkat ketahanan korosi pada lapisan tipis Ni-TiAlN hasil elektrodposisi variasi arus.

## 1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mampu membuat lapisan tipis nanokomposit Ni-TiAlN pada substrat tungsten karbida yang diproses secara elektrodposisi secara mandiri
2. Menghasilkan lapisan tipis nanokomposit Ni-TiAlN yang berguna untuk meningkatkan sifat mekanik dari tungsten karbida sebagai *cutting tool* pada industri berat
3. Sebagai pembandingan dan acuan untuk penelitian elektrodposisi selanjutnya



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

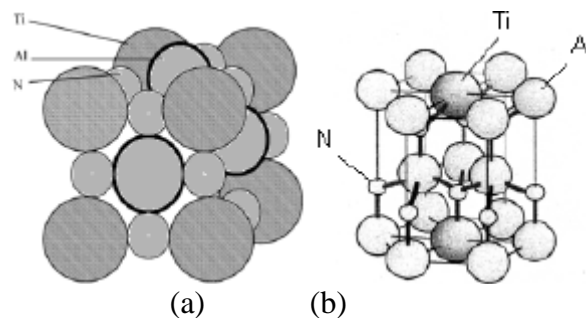
#### 2.1. Lapisan Tipis Ni-TiAlN

Nikel (Ni) adalah unsur dari kelompok VIII dari tabel periodik mempunyai nomor atom 28 dan berat atom 58,69 gram/mol. Struktur kristal Ni adalah *Face Centered Cubic* (FCC) dengan jari-jari atom sebesar 0,1246 nm. Ni mempunyai modulus elastis sebesar 207 GPa dan kekerasan sekitar 138 MPa. Sementara kekuatan tarik sekitar 480 MPa. Ni (99,99% wt) memiliki titik leleh sekitar 1455<sup>0</sup>C dan suhu rekristalisasi sekitar 370<sup>0</sup>C<sup>[11]</sup>. Ni merupakan unsur mulia yang tidak bereaksi dengan oksigen, terutama pada suhu tinggi sehingga selain memiliki keuletan yang sangat baik, nikel memiliki ketahanan korosi yang sangat baik.

Ni memiliki kemampuan untuk berdeformasi tanpa patah sehingga Ni biasanya digunakan sebagai bahan yang dilapisi dalam fabrikasi lapisan tipis untuk menguatkan *film*. Pada umumnya Ni digunakan sebagai bahan antar lapisan mineral dalam fabrikasi lapisan tipis dalam rangka untuk membentuk lapisan tipis yang kuat. Dalam fabrikasi Ni berbasis lapisan nanokomposit, Ni digunakan sebagai matriks sementara nanopartikel keras seperti SiC, TiC dan TiN digunakan sebagai penguat partikel<sup>[12]</sup>. Pengembangan dari Nikel sebagai bahan yang dilapisi nanokomposit dengan penambahan nanopartikel telah terbukti dapat menambah

kekerasan, penggunaan dan ketahanan korosi dari permukaan Nikel tersebut.

Titanium Aluminium Nitrida (TiAlN) merupakan paduan pelapis keras metastabil yang terdiri dari unsur – unsur logam titanium aluminium dan nitrogen, salah satu material keras yang diharapkan memiliki struktur yang baik dalam penggunaan dan ketahanan korosi khususnya pada temperature tinggi<sup>[10]</sup>. Struktur logam transisi nitrida ini ditentukan oleh perbandingan jari-jari atom dengan jari-jari logam transisi nitrogen (Hukum Hagg). Jika rasio kurang dari 0,59 akan terbentuk struktur kubus ataupun heksagonal seperti pada gambar<sup>[13]</sup>. Pada TiN, rasionya adalah 0,504 sedangkan pada AlN adalah 0,527. Oleh karena itu bila Ti digantikan oleh Al, struktur FCC TiN masih dapat dipertahankan. Pada kondisi stabil film TiAlN mempunyai struktur NaCl. Namun, bila jumlah perbandingan Al 60% maka terbentuk struktur ZnS. Struktur NaCl dapat digambarkan dengan struktur sederhana FCC dengan sistem kristal atom pada (0,0,0) dan (1/2, 1/2, 1/2). Sedangkan struktur ZnS dapat digambarkan dengan Hexagonal Close Packing (HCP). Model struktur TiAlN skematis ditunjukkan pada Gambar 2. 1



Gambar 2.1 (a) Model skema struktur TiAlN (struktur FCC-NaCl)<sup>[14]</sup> dan (b) Model skematis dari heksagonal-TiAlN<sup>[15]</sup>

## 2.2. Struktur Kristal

Struktur kristal adalah suatu keteraturan susunan atom-atom dalam suatu zat padat. Atom-atom dan molekul-molekul dari bahan tersebut akan tersusun secara beraturan, sehingga membentuk suatu pola tiga dimensi yang dapat digambarkan sebagai suatu kelipatan atau pengulangan dari satu pola satuan yang dikenal sebagai sel satuan atau *unit cell*. Keteraturan ini tidak dijumpai pada atom gas dan cairan<sup>[19]</sup>. Sel satuan ini mempunyai volume terbatas, masing-masing memiliki ciri yang sama dengan kristal secara keseluruhan. Ukuran dan bentuk sel satuan dapat dijelaskan oleh tiga vector  $a$ ,  $b$  dan  $c$  yang ditarik dari salah satu sudut sel sebagai awalnya. Vektor-vektor ini menyatakan sel dan disebut sebagai sumbu kristalografi dari sel. Selain itu, sel satuan dapat dinyatakan dalam panjang ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) dan sudut. Panjang dan sudut ini digunakan sebagai konstanta kisi sel.

Kristal digambarkan oleh sel satuannya dan bentuk sel satuan ditentukan besar sumbu kristal  $a$ ,  $b$ ,  $c$  serta sudut kristal  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Kebanyakan logam dan beberapa jenis keramik berbentuk kubik. Kristal

non kubik terjadi bila pola ulangnya tidak sama dalam ketiga arah koordinatnya atau sudut antar ketiga sumbu kristal tidak sama dengan  $90^{\circ}$ . Apabila sel satuan diisi atom dengan tidak merusak unsur simetri yang sebelumnya ada padanya, diperoleh apa yang dinamakan kisi Bravais kristal. Frankenheim dan Bravais telah membuktikan bahwa ke tujuh sistem kristal memiliki 14 kisi Bravais. Untuk menentukan struktur kristal apakah merupakan struktur kristal *Simple Cubic* (SC), *Body Centered Cubic* (BCC) atau *Face Centered Cubic* (FCC) ataupun yang lain diperlukan tabel 2. 1 berikut ini.

Tabel 2.1 Tabel Penentuan Struktur Kristal <sup>[19]</sup>

Struktur Kristal	$h^2 + k^2 + l^2$
SC	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ....
BCC	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, ...
FCC	3, 4, 8, 11, 12, 16, 19, 20, 24, ...

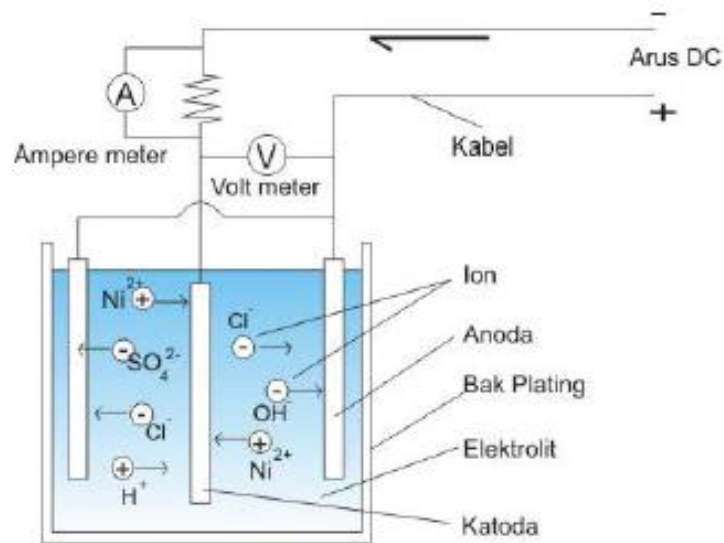
Arah kristal sangat penting dalam mempelajari sifat dan struktur kristal, karena banyak sifat berubah dengan arah. Arah kristal biasanya diberi indeks sesuai berkas yang berasal dari titik asal melalui titik dengan indeks utuh terkecil. Sesuai perjanjian, kita gunakan tanda kurung persegi [uvw] untuk menyatakan arah kristal, dan  $\langle uvw \rangle$  untuk kelompok arah. Arah-arrah yang sejajar selalu mempunyai indeks yang sama, sedangkan arah negatif ditandai dengan garis datar diatas angka.

Suatu kristal mempunyai bidang-bidang atom yang berbeda dan dapat mempengaruhi sifat dan perilaku bahan. Orientasi bidang dalam kristalografi ditentukan oleh indeks Millernya. Indeks Miller adalah kebalikan dari perpotongan suatu bidang dengan ketiga sumbu, biasanya

dinyatakan dalam bilangan bulat bukan pecahan. Pada sistem ini dipilih tiga sumbu  $x$ ,  $y$ ,  $z$  yang masing-masing sejajar dengan rusuk sel satuan. Sistem kubik arah  $(hkl)$  selalu tegak lurus terhadap bidang  $(hkl)$  pada indeks yang sama. Dalam menentukan suatu sistem bidang kristal, terlebih dahulu mencari perpotongan terhadap sumbu  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , kemudian diambil kebalikannya lalu disamakan penyebutnya. Pada bidang yang memotong sumbu negatif, indeksnya adalah negatif dengan mencantumkan garis datar diatas angka bidang yang memotong sumbu negatif.

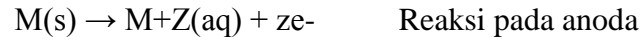
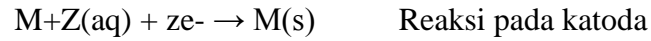
### **2.3. Proses Elektrodeposisi**

Elektrodeposisi adalah pengendapan atau pendeposisian suatu material dengan cara elektrolisis. Prinsip pelapisan logam secara listrik adalah penempatan ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan larutan elektrolit yang digunakan<sup>[16]</sup>. Elektrodeposisi dilakukan di dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisis yang berisi larutan elektrolit atau rendaman (bath) dan di dalamnya tercelup tiga elektroda. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik, dimana dua anoda dihubungkan dengan kutub positif (+) dan katoda dengan kutub negatif (-). Skema pendeposisian dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2. Skema elektrodeposisi<sup>[17]</sup>

Pada proses elektrodeposisi terjadi reaksi oksidasi dan reaksi reduksi yang lebih sering disebut reaksi redoks. Reaksi oksidasi terjadi bila senyawa atau unsur kimia melepaskan elektron, molekul, atau ion-ion dan reaksi reduksi terjadi bila senyawa kimia memperoleh elektron dari partikel-partikel tersebut<sup>[18]</sup>. Reaksi spontan terjadi saat aliran arus listrik ke elektroda terendam dalam larutan elektrolit. Proses ini disebut sebagai reaksi reduksi karena ion logam yang dilepaskan diikuti dengan melepasnya satu atau dua elektron. Kemudian, baik ion logam dan elektron bereaksi dan disimpan ke elektroda (katoda). Ini ditunjukkan pada gambar 2.3 dimana peristiwa elektrodeposisi terjadi pada pembentukan lapisan nanokomposit<sup>[6]</sup>.

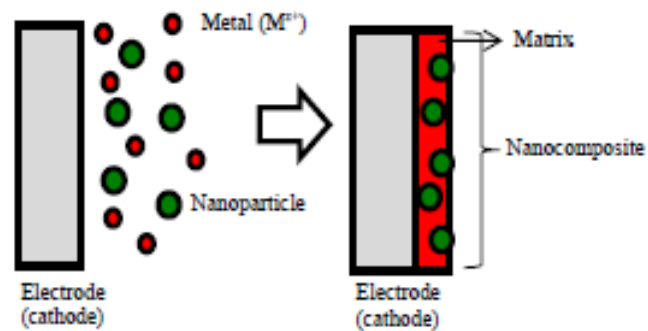


Dimana:  $M^{+Z}$  = ion logam

M = logam

z = nomer atom

e- = electron



Gambar 2.3 Elektrodeposisi pada nano komposit<sup>[9]</sup>

Arus listrik searah (DC) dialirkan antara kedua elektroda dalam larutan elektrolit dengan waktu proses pelapisan yang telah ditentukan. Katoda (kutub -) merupakan logam yang akan dilapisi dan terjadi reaksi oksidasi sedangkan anoda (kutub +) merupakan logam untuk melapisi dan terjadi reaksi oksidasi. Pada anoda terbentuk ion – ion positif sehingga pada larutan elektrolit terjadi elektrolisis garam – garam logam. Anoda yang telah mengalami oksidasi meluruh dan larut dalam larutan elektrolit. Anoda yang meluruh menggantikan ion logam dalam larutan elektrolit yang ditarik oleh katoda, dengan kata lain terjadi dispersi partikel – partikel ion di dalam elektrolit yang kemudian akan terbentuk endapan

pada katoda berupa berat lapisan. Elektrolit dengan penambahan partikel penguat di dalam larutannya ini biasanya merupakan larutan garam anorganik, asam atau basa. Untuk mengetahui hasil dari serangkaian proses elektrodposisi (berat lapisan) yaitu dengan cara menimbang elektroda dari sebelum dan sesudah proses elektrodposisi.

$$W = W_0 - W_t \quad (2.1)$$

Dimana:  $W$  = perubahan berat

$W_t$  = berat akhir substrat

$W_0$  = berat awal substrat

Dalam proses elektrodposisi, substrat atau bahan dasar logam digunakan sebagai katoda didalam larutan elektrolit dimana menjadi tempat lapisan akan diendapkan. Katoda adalah elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif sumber arus dan tempat terjadinya reaksi reduksi, karena elektron-elektron meninggalkan sumber arus pada elektroda tersebut dan masuk ke dalam sel elektrolisis. Setiap bahan logam yang dijadikan substrat mempunyai pengaruh yang berbeda dalam menentukan rapat arus. Rapat arus adalah besarnya arus listrik yang mengalir per satuan luas katoda. Besarnya rapat arus yang mengalir dipengaruhi oleh konduktivitas listrik dari larutan. Konduktivitas larutan berbanding terbalik dengan resistansi larutan. Semakin besar tahanan jenis logam yang digunakan, maka akan meningkatkan resistansi larutan sesuai dengan rumus:



$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:     R     = Resistansi ( $\Omega$ )  
                $\rho$     = Tahanan jenis ( $\Omega$  m)  
               l     = Jarak elektroda (m)  
               A     = Luas permukaan ( $m^2$ )

Berdasarkan rumus di atas, dengan meningkatnya resistansi larutan, konduktivitas listrik dari larutan akan menurun sehingga rapat arus juga menurun. Dengan menurunnya rapat arus akan mengakibatkan laju pelapisan logam makin kecil sehingga lapisan yang terbentuk juga semakin tipis. Deposit logam yang tipis akan memiliki ikatan yang rapuh dengan logam induk pada proses elektrodposisi. Ikatan yang rapuh ini menyebabkan kualitas permukaan yang kurang baik sehingga laju korosi semakin tinggi dan tingkat kekerasan semakin menurun<sup>[19]</sup>

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat proses elektrodposisi<sup>[22]</sup> yakni:

#### 1. Suhu

Suhu sangat penting untuk menyeleksi cocoknya jalannya reaksi dan melindungi pelapisan. Keseimbangan suhu ditentukan oleh beberapa faktor seperti ketahanan, jarak anoda dan katoda, serta kuat arus yang digunakan.

#### 2. Kerapatan Arus

Kerapatan arus yang baik adalah arus yang tinggi pada saat arus diperkirakan masuk. Bagaimanapun nilai kerapatan arus dipengaruhi oleh hambatan jenis yang dimiliki oleh jenis logam yang dijadikan substrat.

### 3. Konsentrasi Ion

Merupakan faktor yang berpengaruh pada struktur deposit, dengan naiknya konsentrasi logam dapat menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion.

### 4. Agitasi

Terdiri dari dua macam; jalannya katoda dan jalannya larutan. Agitasi yang besar mungkin akan merusak dan agitasi seharusnya disalurkan dengan tujuan untuk menghindari bentuk/struktur, penampilan, dan ketebalan pelapisan yang tidak seragam.

### 5. *Throwing Power*

Kemampuan larutan penyalur menghasilkan lapisan dengan ketebalan merata dan sejalan dengan terus berubahnya jarak antara anoda dan permukaan katoda selama proses pelapisan.

### 6. Waktu Pelapisan

Waktu lapisan sangat berpengaruh pada ketebalan lapisan yang diharapkan. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, variasi waktu telah menghasilkan perbedaan ketebalan lapisan yang sangat signifikan. Semakin lama pencelupan maka ketebalan lapisan semakin bertambah.

## 2.4. Tungsten Karbida

Subtrat selain sebagai tempat menampung deposit juga berfungsi sebagai lapisan penyangga atau cetakan dimana struktur morfologi dan volume lapisan yang akan ditumbuhkan bergantung pada morfologi substratnya<sup>[20]</sup>. Logam yang akan dijadikan substrat pada penelitian ini adalah tungsten karbida. Tungsten atau wolfram adalah unsur kimia dengan symbol W bernomor atom 74. Dalam bentuk mentah, tungsten adalah baja abu – abu keras logam yang sering rapuh dan sulit untuk dimanfaatkan. Jika dibuat sangat murni, tungsten memiliki kekerasan yang melebihi baja. Hal ini membutuhkan proses penempaan atau diekstrusi. Logam tungsten juga sering dibentuk melalui proses seintering.

Dari semua logam dalam bentuk murni, tungsten memiliki titik leleh tertinggi (3.422°C), tekanan uap terendah (pada suhu di atas 1.650°C) dan kekuatan tarik tertinggi. Meskipun karbon tetap padat pada suhu yang lebih tinggi daripada tungsten dan pada saat itu karbon menyublim, bukan mencair, tungsten tetap dianggap memiliki titik lebur yang lebih tinggi. Tungsten memiliki koefisien ekspansi thermal terendah dari setiap logam murni. Ekspansi termal yang rendah, titik lebur yang tinggi dan kekuatan tarik tungsten yang kuat berasal dari ikatan kovalen yang terbentuk antara atom tungsten oleh electron 5d. logam tungsten mempunyai potensial reduksi sebesar 0.28 V<sup>[21]</sup>

## 2.5. Desain Sistem Elektrodeposisi

Michael Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan dari ion logam dengan jumlah arus untuk mengendapkannya. Hubungan ini dapat diungkapkan dalam Hukum Faraday sebagai berikut:

1. Jumlah bahan yang terdekomposisi saat berlangsung elektrolisis berbanding lurus dengan kuat arus dan waktu pengaliran dalam larutan elektrolit.
2. Jumlah arus yang sama akan membebaskan jumlah ekivalen yang sama dari berbagai unsur.

Pernyataan ini dapat dirumuskan dengan<sup>[23]</sup>:

$$W = \frac{e \cdot I \cdot t}{96500} \quad (2.3)$$

Dimana  $W$  = Massa endapan pelapis (gram)

$I$  = Arus (ampere)

$t$  = Waktu (detik)

$e$  = Berat ekivalen kimianya (massa atom dibagi dengan valensinya)

Standar alat elektrodeposisi yang dikomersilkan dalam bidang penelitian relatif rumit dan tidak terjangkau. Untuk itu diperlukan desain sistem electroplating sendiri. Unsur-unsur pokok dalam suatu proses *electroplating* dapat diuraikan sebagai berikut<sup>[22]</sup>:

### 1. Power Supply DC

Power supply DC adalah alat yang dibutuhkan untuk menghasilkan arus dan tegangan searah. Besarnya arus DC yang dialirkan dapat

diukur dengan menggunakan amperemeter sedangkan untuk mengukur besarnya tegangan digunakan voltmeter. Besarnya arus dan tegangan DC yang dialirkan harus disesuaikan dengan kondisi operasi yang dibutuhkan agar reaksi pelapisan dapat berlangsung dengan baik. Jenis power supply DC yang dapat digunakan adalah baterai, aki, motor generator atau *rectifier*. *Rectifier* merupakan jenis power supply yang paling digunakan dalam aplikasi elektroplating. Syarat sebuah *rectifier* dapat digunakan dalam proses ini adalah mempunyai ripple arus keluaran kurang dari 5%. Parameter lain yang juga dipertimbangkan adalah besarnya input dan output, efisiensi, tingkat kemudahan dalam mengoperasikannya, ketahanan alat terhadap lingkungan electroplating serta harga yang ditawarkan.

## 2. Larutan Elektrolit

Larutan ini adalah media penghantar listrik antara anoda dan katoda yang didalamnya terkandung ion logam yang akan dilapiskan.

## 3. Anoda

Anoda yang dipilih pada penelitian ini adalah anoda tak larut. Jenis logam yang digunakan adalah baja anti karat (stainless steel) atau platina.

## 4. Katoda

Katoda yang digunakan adalah bahan yang akan dilapis yaitu tungsten karbida

## 5. Bak elektroplating

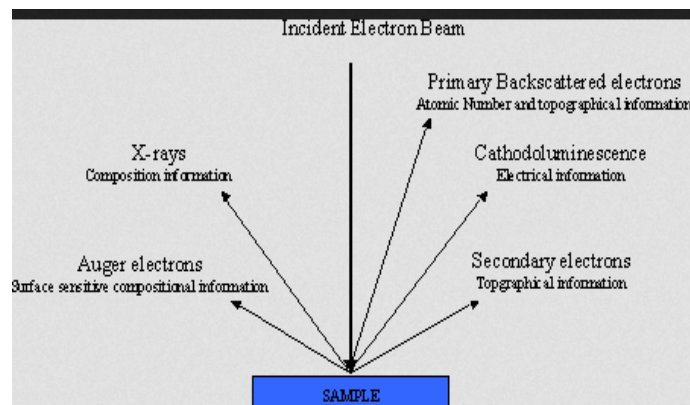
Bak ini merupakan tempat larutan elektrolit, anoda dan katoda berada. Desain konstruksi bak electroplating harus mempertimbangkan volume larutan, jarak ideal antara anoda dan katoda serta peralatan pendukungnya yang akan ditampung.

## 2.6. Pengujian Sample

### 1. Uji Karakteristik Komposisi dan Morfologi

Melakukan uji karakterisasi menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi dari sampel hasil deposisi lapisan nanokomposit Ni-TiAlN. SEM merupakan salah satu jenis dari mikroskop elektron yang memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, depth of field 4 – 0,4 mm dan resolusi 1 – 10 nm. Kombinasi tersebut serta kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri.

Pada SEM terdapat beberapa peralatan utama yaitu Ppistol elektron, biasanya berupa filament yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron dan sistem vakum karena elektron sangat kecil dan ringan. Bila ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting. Cara kerja alat ini ditunjukkan dengan gambar 2.4



Gambar 2.4. Mekanisme Kerja SEM

Sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh kail pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor. Ada beberapa sinyal penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered* elektron. Perbedaan gambar dari sinyal – sinyal tersebut adalah sebagai berikut: elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah. Sedangkan *backstattered* elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom – atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah.

Mekanisme kontras dari *backstattered* elektron secara prinsip atom – atom dengan densitas atau berat molekul lebih besar akan memantulkan lebih banyak elektron sehingga menjadi lebih cerah.

Maka teknik ini sangat berguna untuk membedakan jenis atom. Dalam penggunaan perlu diperhatikan bahwa SEM memerlukan kondisi vakum, hanya menganalisa permukaan, resolusi lebih rendah dari TEM, sampel merupakan bahan yang konduktif, jika tidak konduktif maka perlu dilapisi logam seperti emas.

## 2. Uji Struktur Kristal

Proses analisis menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan menentukan parameter struktur kisi dan mendapatkan ukuran partikel.

Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energy tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Spectrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-10} - 5^{-10}$  nm dan frekuensi 10<sup>17</sup> – 10<sup>20</sup> Hz. Panjang gelombangnya memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Sinar X dihasilkan oleh interaksi berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom karena tumbukan dengan kecepatan tinggi. Oleh karena itu, tabung sinar-X harus mempunyai suatu sumber elektron, voltase tinggi, dan logam sasaran. Dalam XRD, terdapat beberapa komponen antara lain:



1. Slit dan film
2. Monokromator
3. Tabung Sinar-X
4. Detektor; dll

Sinar X dihasilkan dengan pemanasan kawat pijar untuk menghasilkan elektron – elektron, kemudian elektron tersebut dipercepat dengan dengan memberi voltase tinggi sehingga mampu menembak target. Ketika elektron mempunyai energy yang cukup untuk mengeluarkan elektron valensi dalam target, maka karakteristik spectrum sinar-X dihasilkan. Spektum ini terdiri dari beberapa komponen, yang paling utama adalah  $K\alpha$  dan  $K\beta$ .  $K\alpha_1$  mempunyai panjang gelombang sedikit lebih pendek dan mempunyai intensitas dua kali lebih besar daripada  $K\alpha_2$ . Panjang gelombang yang spesifik merupakan karakteristik dari bahan target (Cu, Fe, Mo, Cr). Saat sampel dan detektor diputar, intensitas sinar-X pantul akan direkam. Ketika geometri dari peristiwa sinar-X tersebut memenuhi persamaan Bragg, maka interferensi konstruktif dan puncak di dalam intensitas akan terjadi. Detektor akan merekam dan memproses isyarat penyinaran ini dan mengkonversi isyarat tersebut menjadi suatu arus yang akan dikeluarkan pada printer atau monitor.

Dalam penggunaan XRD, akan diperoleh suatu pola difraksi dari bahan yang akan dianalisis. Dari pola tersebut akan didapat beberapa informasi antara lain:

1. Panjang gelombang sinarX yang digunakan ( $\lambda$ )
2. Orde pembiasan / kekuatan intensitas (n)
3. Sudut anatar sinar dating dengan bidang normal ( $\theta$ )

Dengan persamaan Brag akan diperoleh nilai jarak antara dua bidang kisi

$$(d) \text{ yaitu: } n \lambda = 2d \sin \theta \qquad n = 1, 2, \dots$$

## 2.7. Korosi

Korosi adalah degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lainnya dan lingkungan. Akibat adanya korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat kearah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang

Laju korosi merupakan suatu besaran yang menyatakan cepat atau lambat suatu material bereaksi dengan lingkungannya dan mengalami korosi. Laju korosi dapat didefinisikan dalam berbagai macam, seperti persentase kehilangan massa, miligram per sentimeter persegi per hari dan gram per inci persegi per jam. Selain itu, juga digunakan *mils per year* (*mpy*) yang menyatakan laju penetrasi serangan korosi terhadap logam. Untuk mengetahui laju korosi suatu material umumnya menggunakan metode kehilangan massa (*mass loss*). Perhitungan laju korosi atas dasar kehilangan massa logam selama pengujian dirumuskan seperti pada persamaan dibawah ini :

$$CR = \frac{K \times W}{A \times t \times D} \quad (2.4)$$

Keterangan :

CR = laju korosi (mpy)

K = Konstanta laju korosi =  $3,45 \times 10^6$  (mpy/mmpy)

W = massa yang hilang (g)

A = luas permukaan spesimen ( $\text{cm}^2$ )

t = waktu perendaman (jam)

D = densitas specimen ( $\text{g/cm}^3$ )

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen dilakukan untuk membuat dan mengetahui hasil pembuat lapisan tipis nanokomposit Ni-TiAlN pada substrat tungsten karbida yang diproses secara elektrodeposisi sederhana dua elektroda kemudian dilakukan uji SEM, EDS dan XRD untuk mengetahui struktur, komposisi dan morfologi lapisan tipis serta uji korosi.

#### **3.2. Bahan dan Alat Penelitian**

##### **3.2.1. Bahan Penelitian**

Bahan – bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Tungsten karbida
2. Anoda (Platina)
3.  $\text{Ni}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
5. TiN
6. AlN
7.  $\text{H}_3\text{BO}_3$
8. Alkohol 96%
9. NaCl
10. Aquades
11. *Aqua bidestilata steril*

### 3.2.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1. Gelas Kimia (Beker)   | 10. Alat uji <i>Scanning</i>  |
| 2. Power Supply DC       | <i>Electron Microscopy</i>    |
| 3. Kabel                 | (SEM).                        |
| 4. Spatula               | 11. Alat uji XRD              |
| 5. Neraca Digital        | 12. Alat Uji kekuatan         |
| 6. Kertas Timbang        | kekerasan dan korosi.         |
| 7. <i>Electric Stove</i> | 13. pH meter                  |
| 8. Termometer            | 14. Amplas                    |
| 9. <i>Stirrer</i>        | 15. <i>Ultrasonic Cleaner</i> |

### 3.3. Prosedur Penelitian

#### 3.3.1. Pencucian Substrat

Substrat adalah tungsten karbida dengan jari jari 1 mm yang dipotong dengan ukuran 2,5 cm. ukuran ini menyesuaikan dengan tempat dari botol reaksi yang tersedia. Substrat diampelas terlebih dahulu kemudian dicuci dengan menggunakan sabun sebanyak 2 kali, kemudian dicuci kembali dengan alkohol 96%, dan disterilkan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Pemegangan substrat menggunakan pinset setelah proses pencucian untuk meminimalisir substrat terkena kotoran ditangan. Setelah itu substrat dikeringkan menggunakan pemanas, kemudian disimpan dalam plastik yang bersih dan tertutup rapat.

### 3.3.2. Pembuatan Larutan Elektrolit

- a. Menimbang bahan-bahan yang digunakan untuk membuat elektrolit menggunakan neraca analitik dengan berat masing-masing terlihat pada tabel sebagai berikut.

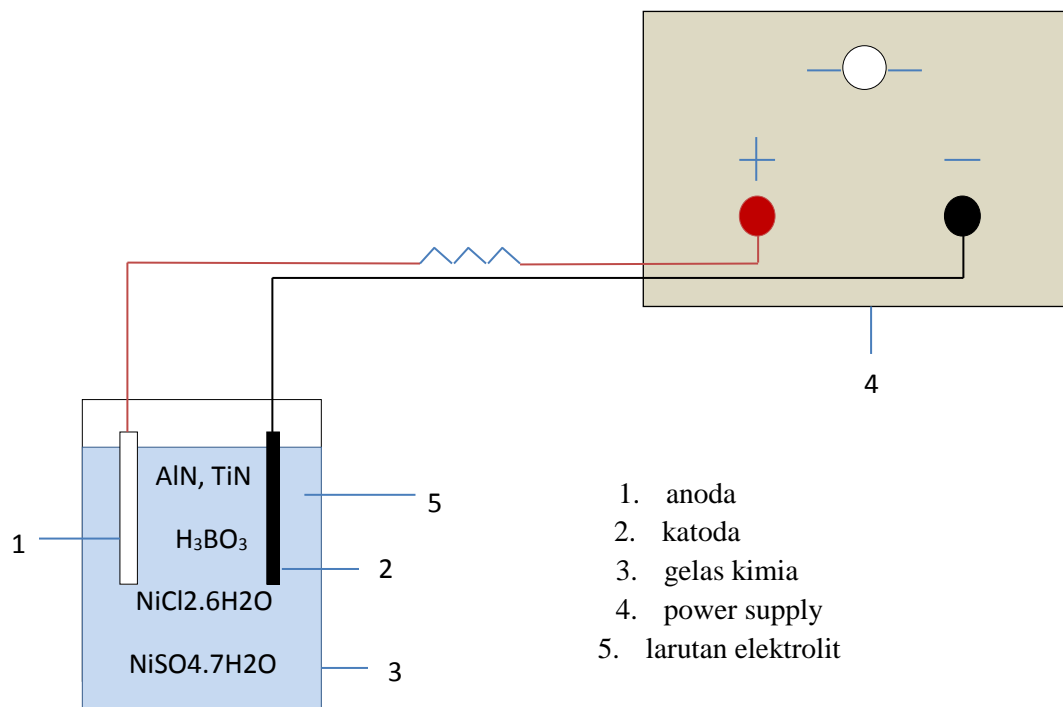
Tabel 3.1. Bahan-bahan komposisi elektrolit <sup>[27]</sup>

No.	Nama Bahan	Berat (gram)
1	AlN	0,06
2	TiN	0,06
3	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,303
4	NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,404
5	NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,988

- b. Mengetahui berat bahan yang dibutuhkan menggunakan perhitungan rumus mol dengan solusi molaritas (M) masing-masing bahan 0,38 mol/L Ni<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,17 mol/L NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O dan 0,49 mol/L H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.
- c. Membuat larutan elektrolit sebanyak 10 mL dengan mencampurkan air *Aqua bidestilata steril* sebanyak 10 mL dengan bahan-bahan yang sudah ditimbang. Pencampuran larutan elektrolit diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama ±24 jam.

### 3.3.3. Proses Elektrodeposisi

- a. Persiapan rangkaian yaitu power supply, resistor, kabel, ampermeter, voltmeter, gelas kimia dan elektroda



Gambar 3.1. Desain sistem elektrodeposisi

- b. Mengatur besar arus pada  $I = 2 \text{ mA}$ ,  $3 \text{ mA}$ ,  $4 \text{ mA}$ , <sup>[6]</sup>
- c. Menghidupkan *Power supply* dan diatur pada tegangan  $V = 10 \text{ V}$
- d. Menghubungkan substrat-katoda dengan kutub negatif serta anoda dengan kutub positif,
- e. Memasukan elektrolit kedalam bejana dan menaruhnya diatas mikro *stirrer*,
- f. Melakukan proses pendeposisian lapisan tipis pada suhu kamar ( $27^{\circ}\text{C}$ ) dengan waktu deposisi 25 menit

### 3.3.4. Pengujian Karakteristik

- a. Uji Karakteristik Komposisi dan Morfologi

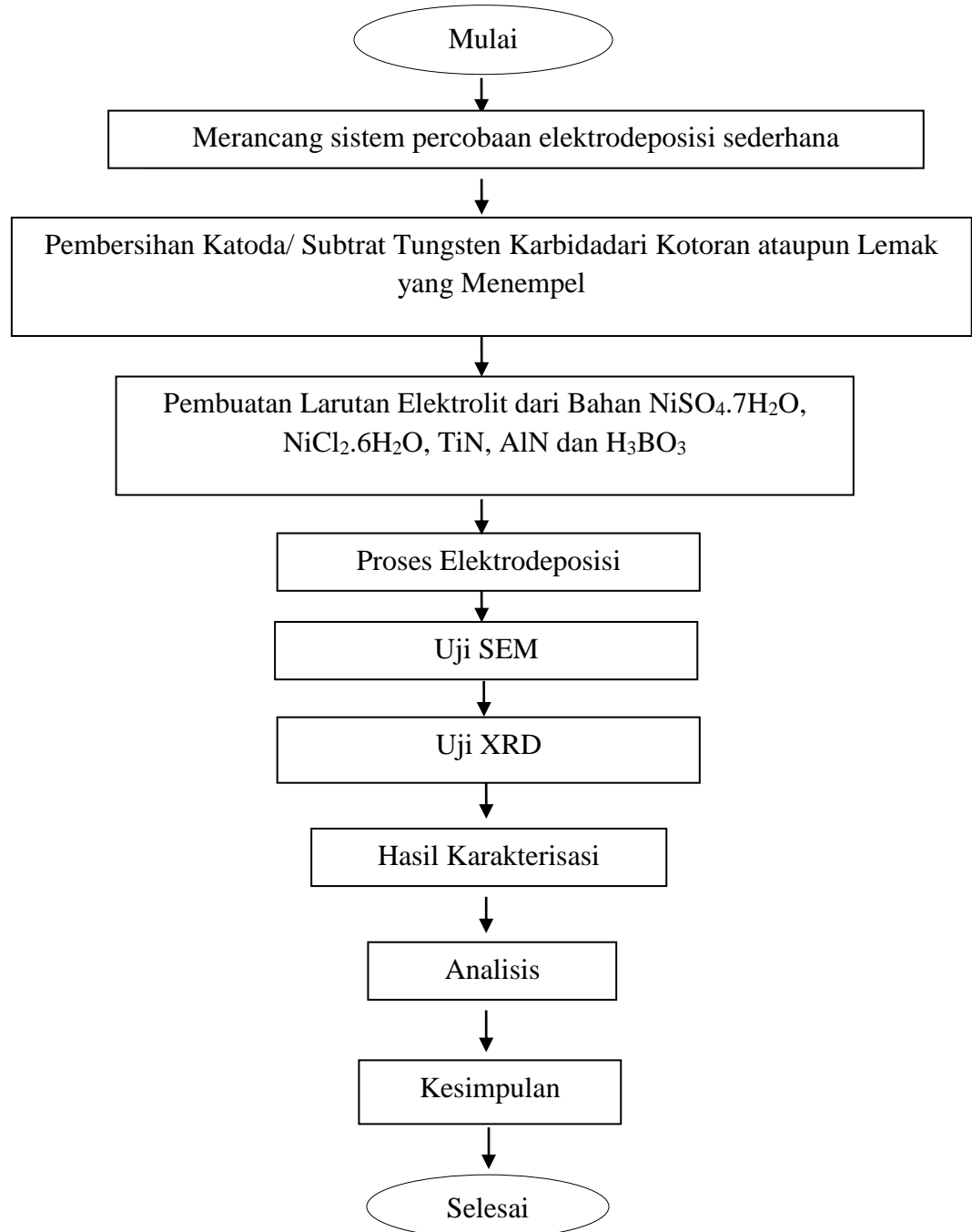
Dilakukan menggunakan SEM di Laboratorium Material Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

- b. Uji Struktur Kristal

Dilakukan menggunakan XRD di Laboratorium Material Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Jakarta.



### 3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pelapisan substrat dengan metode elektrodeposisi sederhana dua elektroda telah dilakukan selama dua bulan dan dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Elektronika Universitas Negeri Jakarta. Penelitian ini secara garis besar dimulai dengan pembuatan larutan, pembersihan substrat, pengaturan variasi arus, perangkaian alat elektrodeposisi, proses elektrodeposisi, uji SEM, uji EDS, uji XRD dan uji laju korosi.

#### 4.1. Preparasi Larutan dan Alat

##### 4.1.1. Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang dibuat mengandung 0,38 mol/L  $\text{Ni}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,17 mol/L  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0,49 mol/L  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 6 gr/l AlN, dan 6 gr/l TiN. Dilakukan tiga kali proses elektrodeposisi untuk tiga batang tungsten karbida dan digunakan masing – masing 5 ml larutan elektrolit per pelapisan, sehingga larutan yang dibutuhkan sebanyak 15 ml. Dengan rumus perbandingan senilai, maka jumlah yang dibutuhkan untuk 15 ml ditunjukkan tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1. Berat larutan elektrolit yang digunakan

No.	Nama Bahan	Berat (gram)
1	AlN	0,09
2	TiN	0,09
3	$\text{H}_3\text{BO}_3$	0,4545
4	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,606
5	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,482

Setelah bahan ditimbang dengan presisi, kemudian semuanya diletakkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan 15 ml *Aqua Bidestilata Steril*. Gelas kimia

sebaiknya ditutup agar larutannya tidak tumpah karena putaran magnetic bar. Pencampuran larutan dilakukan di atas magnetic stirrer selama 24 jam. Setelah pembuatan larutan selesai, larutan dimasukkan ke dalam tiga wadah kecil yang berbeda.



Gambar 4.1. Senyawa  $\text{Ni}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{AlN}$ , dan  $\text{TiN}$

#### 4.1.2. Pengaturan Variasi Arus

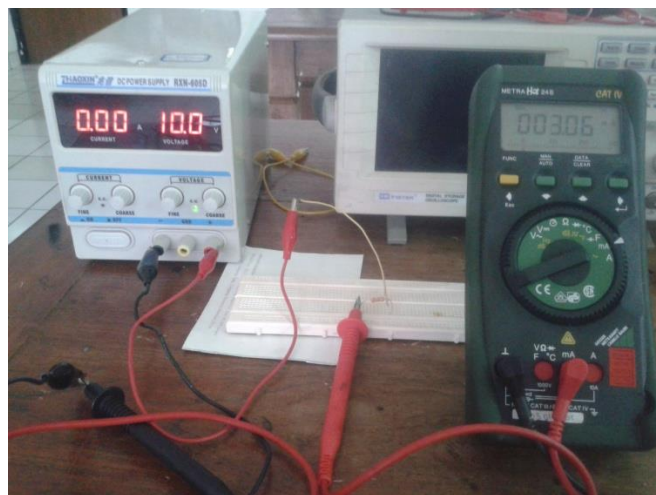
*Power supply* yang digunakan mempunyai hambatan dalam  $1 \Omega$ , ini diketahui dari pengukuran arus saat *output power supply* sebesar  $1 \text{ V}$  menunjukkan arus sebesar  $1 \text{ A}$ . Arus yang digunakan dalam proses elektrodeposisi adalah  $2 \text{ mA}$ ,  $3 \text{ mA}$ , dan  $4 \text{ mA}$  sehingga pada *power supply* diberi beban tambahan agar bisa diukur arus yang diinginkan. Dengan menggunakan hukum ohm sederhana yaitu  $R = \frac{v}{i}$ , dengan tegangan diatur konstan sebesar  $10 \text{ V}$  maka resistor yang dibutuhkan adalah:

$$R_1 = \frac{v}{i} = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 5000 \Omega$$

$$R_2 = \frac{v}{i} = \frac{10 \text{ V}}{3 \text{ mA}} = 3333 \Omega$$

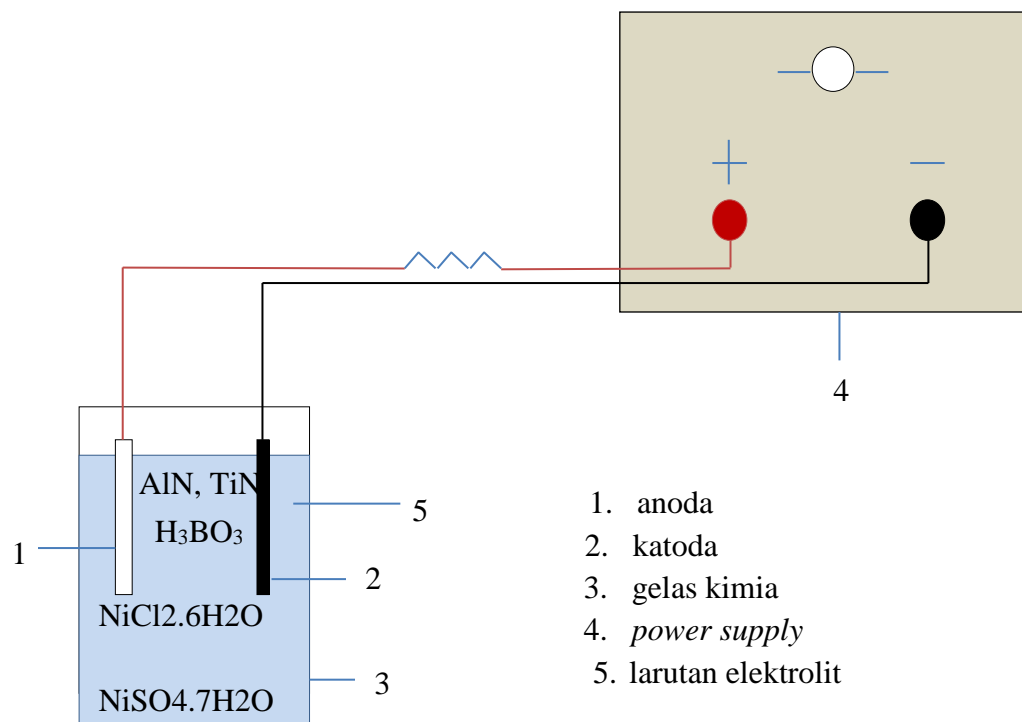
$$R_3 = \frac{v}{i} = \frac{10 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 2500 \Omega$$

Oleh karena resistor dengan hambatan  $5000 \Omega$  dan  $2500 \Omega$  tidak beredar di pasaran, maka digunakan rangkaian seri  $1500 \Omega$  dan  $1000 \Omega$  untuk  $2500 \Omega$  serta rangkaian paralel dua buah resistor  $10000 \Omega$  untuk  $5000 \Omega$ . Sebelum rangkaian digunakan untuk proses pelapisan, alat diuji dulu dengan multimeter apakah sudah menghasilkan arus yang dikeluarkan atau belum. Rangkaian dipasang seri seperti pada gambar 4.2



Gambar 4.2. Uji coba variasi arus

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan tidak ada kabel yang putus. Setelah dipastikan multimeter menunjukkan arus yang diinginkan, maka rangkaian tersebut siap diimplementasikan seperti pada desain gambar 4.3

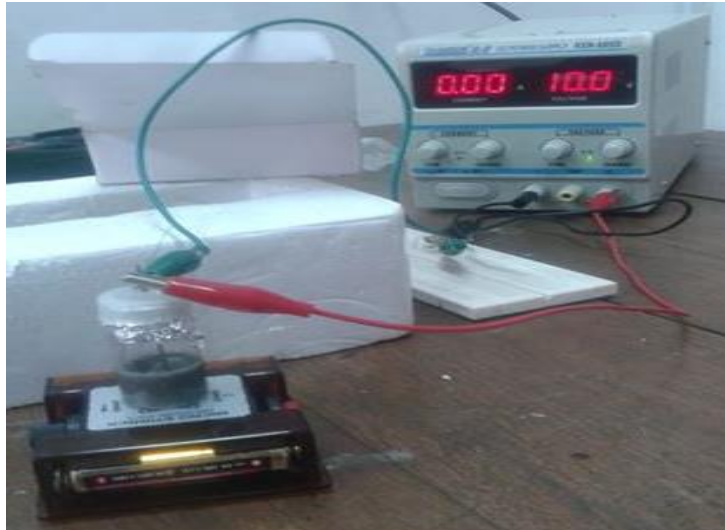


Gambar 4.3. Desain Proses Elektrodeposisi Dua Elektroda

#### 4.1.3. Perangkaian alat elektrodeposisi

Pada penelitian ini digunakan alat elektrodeposisi sederhana dengan dua elektroda yaitu platina sebagai anoda dan substrat tungsten karbida sebagai katoda. Alat yang digunakan berupa *power supply*, resistor, multimeter, kabel, *photoboard*, gelas reaksi, dan *mikro stirrer*.

Rangkaian dibuat secara seri dengan kutub positif pada *power supply* disambungkan ke resistor lalu ke anoda (platina) kemudian kutub negatif dihubungkan langsung ke substrat tungsten karbida. Kedua elektroda tersebut dimasukkan ke dalam gelas reaksi yang sudah diisi larutan elektrolit. Gelas reaksi tersebut diletakkan di atas mikro stirrer agar tidak terjadi koagulasi pada larutan. Proses pelapisan dilakukan selama 25 menit pada setiap variasi arus. Rangkaian elektrodeposisi sederhana dua elektroda diperlihatkan pada gambar



Gambar 4.4 Rangkaian alat elektrodeposisi sederhana dua elektroda

#### 4.1.4. Proses Elektrodeposisi Sederhana Dua Elektroda

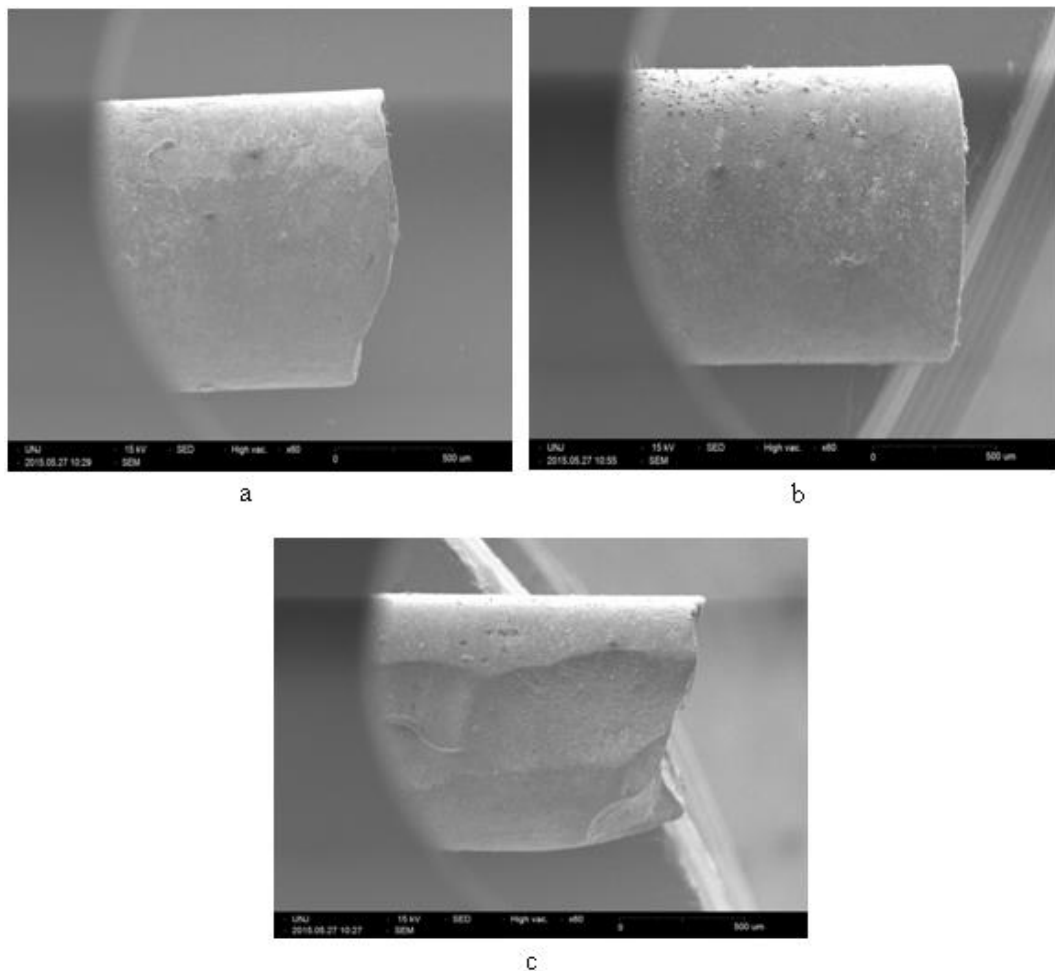
Dari proses pelapisan tersebut didapat lapisan tipis yang berwarna abu – abu terang ditunjukkan pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil elektrodeposisi

Bagian tungsten yang telah terlapisi lalu dipotong kemudian diuji SEM dan EDS untuk kemudian dianalisis morfologi dan komposisinya. Perbandingan batang tungsten karbida yang sudah terlapisi dengan variasi arus ditunjukkan oleh gambar 4.6

Permukaan substrat variasi arus 2 dan 4 mA tidak rata disebabkan kesalahan saat batang yang tidak rata permukaannya dicelupkan ke dalam larutan elektrolit sehingga menjadikan permukaan tersebut yang terlapisi.



Gambar 4.6. Substrat Tungsten Karbida yang terlapisi NiTiAlN pada variasi arus (a) 2 mA, (b) 3 mA, dan (c) 4 mA

#### 4.1.5. Massa yang terbentuk

Sebelum melakukan proses pelapisan, ketiga substrat ditimbang terlebih dahulu. Kemudian selalu diletakkan pada wadah tertentu agar tidak tertukar. Setelah proses pelapisan selesai, terlihat adanya lapisan yang menempel pada substrat. Ini menunjukkan adanya penambahan massa pada substrat. Namun

massa yang terdeteksi hanya sedikit karena kurang presisinya timbangan neraca yang digunakan. Berikut adalah tabel perbandingan massa sebelum dan sesudah proses elektrodeposisi

Tabel 4.2. Jumlah massa Substrat Sebelum dan Sesudah proses elektrodeposisi

No	Variasi	Massa (gram)	
		Sebelum pelapisan	Sesudah pelapisan
1	4 mA	0.633	0.635
2	3 mA	0.606	0.607
3	2 mA	0.610	0.611

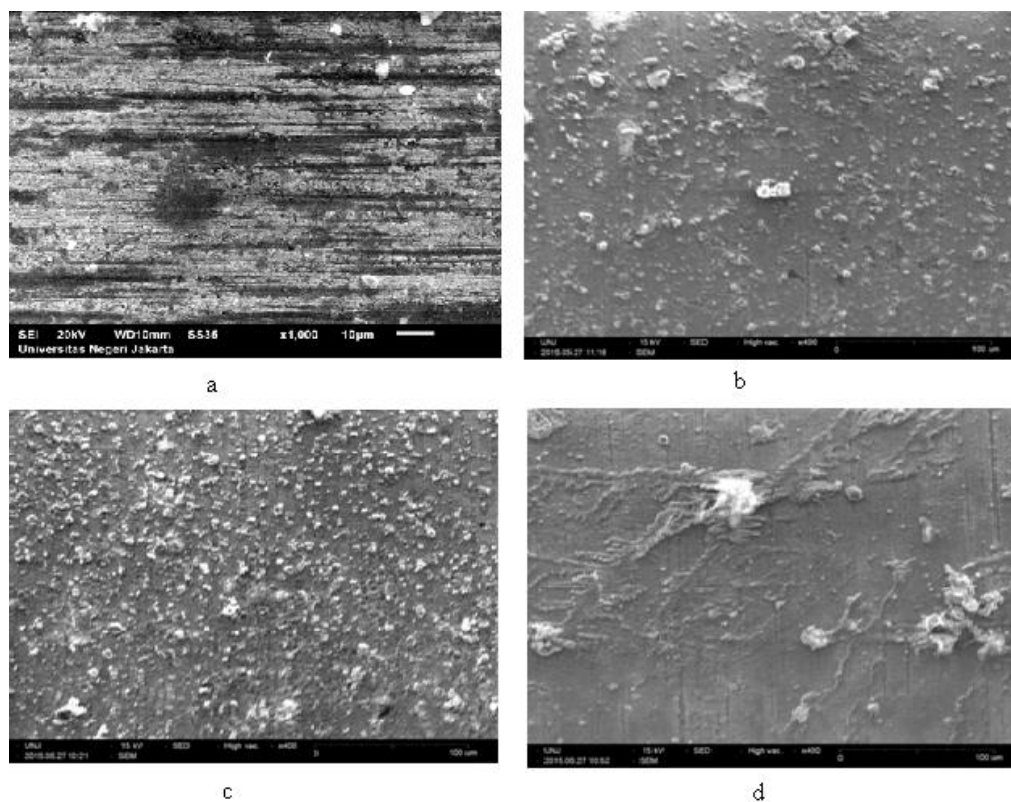
Dari data tersebut dapat dilihat bahwa massa dari setiap substrat bertambah. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat lapisan tipis yang menempel. Penambahan massa yang paling banyak terdapat pada sample dengan variasi 4 mA yaitu sebanyak 0.002 gr, sedangkan untuk substrat yang lain bertambah 0.001 gr. Hasil yang sedikit ini dimungkinkan disebabkan oleh kurangnya banyaknya konsentrasi TiN dan AlN serta kurang lamanya proses elektrodeposisi.

## 4.2. Karakterisasi Lapisan Tipis NiTiAlN

### 4.2.1. Morfologi Lapisan Tipis NiTiAlN

Morfologi permukaan batang tungsten karbida sebagai substrat diperlihatkan pada gambar 4.7





Gambar 4.7. Morfologi substrat WC murni dan pada variasi arus (b) 2 mA, (c) 3 mA, dan (d) 4 mA

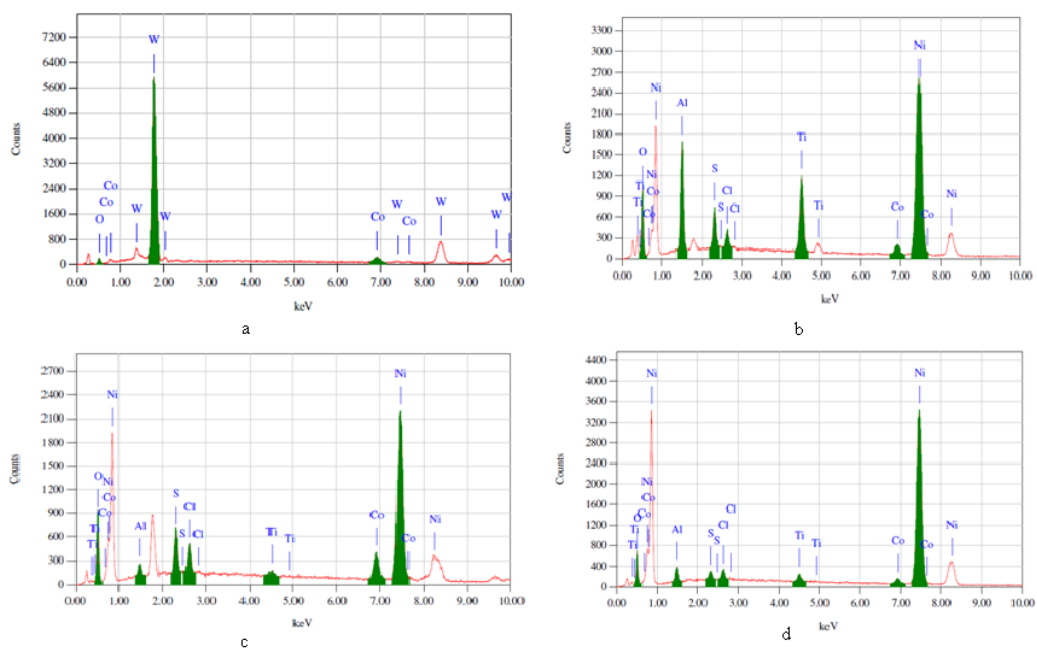
Morfologi lapisan tipis menunjukkan butir – butir kasar. Pada arus 4 mA, lapisan tipis yang terbentuk memiliki morfologi yang lebih halus dari daripada saat 2 mA dan 3 mA. Terlihat jelas bintik – bintik halus yang rapat menunjukkan lapisan tipisnya. Pada arus 2 mA, sudah terbentuk bintik – bintik halus namun masih jarang. Morfologi paling buruk ditunjukkan saat 3 mA karena yang terbentuk adalah serat yang menggerumbul seperti rumput.

Perbaikan morfologi lapisan tipis pada arus tinggi disebabkan oleh proses reduksi dan pertumbuhan kristal dari nikel<sup>[4]</sup>. Pada arus tinggi, partikel nitrit menurun karena pertumbuhan kristal nikel merata. Pembentukan lapisan tipis dengan elektrodeposisi adalah perpaduan antara nukleasi dan

pertumbuhan kristal. Partikel – partikel yang diserap oleh substrat menghalangi pertumbuhan kristal oleh Nikel dan mengaktivasi nukleasi<sup>[25]</sup>.

#### 4.2.2. Komposisi Lapisan Tipis NiTiAlN

Analisis EDS memperlihatkan komposisi substrat tungsten karbida paling banyak terdiri dari elemen tungsten (W) yaitu 89.95 wt% dan pada substrat WC yang telah terlapsi seperti ditunjukkan pada gambar 4.8



Gambar 4.8. Analisis EDS subtrat WC (a) murni, variasi (b) 2 mA, (c) 3 mA, dan (d) 4 mA

Analisis EDS mengindikasikan kehadiran dari sejumlah Ni, Ti, dan Al pada lapisan tipis sedangkan elemen N tidak terdeteksi pada gambar 4.9. Jumlah dari komposisi lapisan tipis dikontrol oleh perubahan partikel secara terus – menerus pada permukaan substrat dan kesemuanya dikontrol oleh rapat arus<sup>[26]</sup>. Rapat arus didapat dari perhitungan sebagai berikut

$$j = \frac{i}{A} = \frac{i}{\pi r^2 + 2\pi r t}$$

Dengan  $j$  adalah rapat arus,  $i$  adalah arus,  $A$  adalah luas permukaan substrat yang terlapisi,  $r$  adalah jari – jari substat dan  $t$  adalah tinggi substat yang telapisi. Tinggi substrat yang terlapisi adalah 1 cm dan jari jari subtract adalah 0.5 mm. Sehingga didapat rapat arus sebagai berikut

$$j_1 = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ A}}{3.14 \times (0.5 \times 10^{-2})^2 + 2 \times 3.14 \times 0.5 \times 10^{-2} \times 0.1 \text{ dm}^2} = 0.62 \text{ A/dm}^2$$

$$j_2 = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ A}}{3.14 \times (0.5 \times 10^{-2})^2 + 2 \times 3.14 \times 0.5 \times 10^{-2} \times 0.1 \text{ dm}^2} = 0.93 \text{ A/dm}^2$$

$$j_3 = \frac{4 \times 10^{-3} \text{ A}}{3.14 \times (0.5 \times 10^{-2})^2 + 2 \times 3.14 \times 0.5 \times 10^{-2} \times 0.1 \text{ dm}^2} = 1.24 \text{ A/dm}^2$$

Perbandingan elemen Ni, Ti, dan Al disajikan pada tabel berikut.

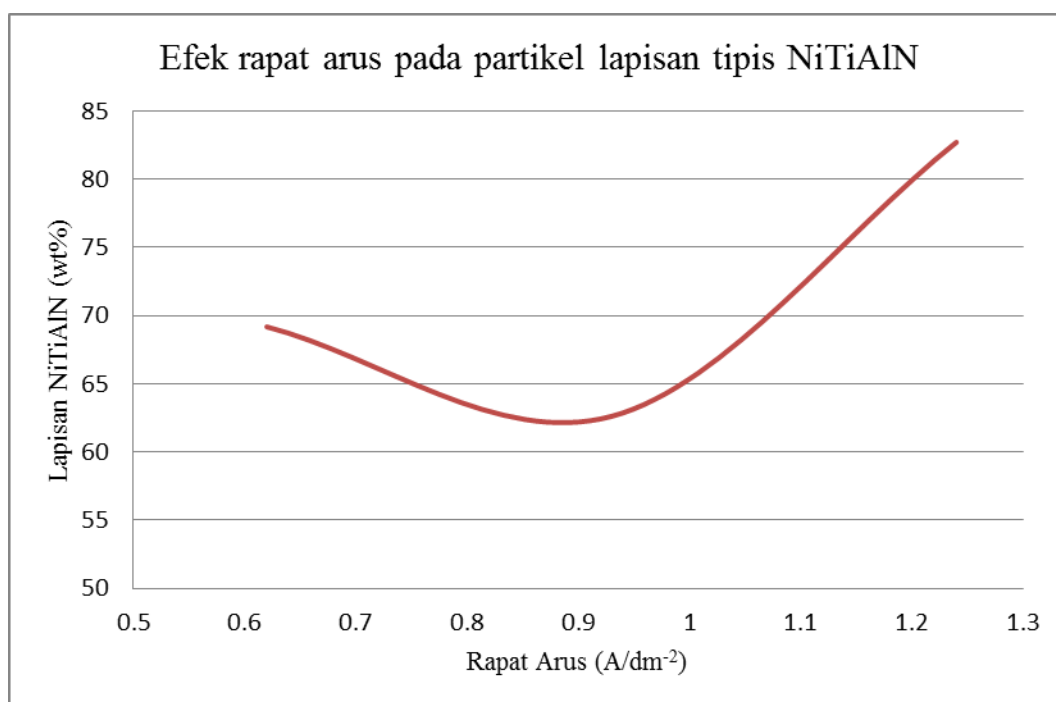
Tabel 4.3. Kuantitas Ni, Ti, dan Al pada variasi arus 2, 3, dan 4 mA

Arus (mA)	Rapat arus (A/dm <sup>2</sup> )	Ni		Ti		Al	
		Mass (%)	Atom (%)	Mass (%)	Atom (%)	Mass (%)	Atom (%)
2	0.62	51.99	29.07	8.05	5.51	9.14	11.12
3	0.93	60.65	36.43	0.62	0.46	1.35	1.77
4	1.24	79.27	57.42	1.21	1.08	2.23	3.51

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa kuantitas dari Ni lebih banyak daripada unsur yang lain. Hal ini mengindikasikan bahwa unsur Ni mudah terdeposisi atau menempel ke permukaan substrat hal ini selain disebabkan karena Ni mempunyai massa yang lebih banyak dalam larutan juga disebabkan karena Ni akan cenderung memilih unsur yang mudah direduksi dan tidak meninggalkan sisa larutan. Ni mudah tereduksi karena Ni mudah menerima elektron.

Pada substrat 4 mA massa yang terbentuk adalah 82.71%, lebih tinggi daripada substrat yang lain yaitu pada substrat 2 mA yaitu 69.18% dan pada substrat 3 mA adalah 62.62%. Hasil EDS sebanding dengan morfologi hasil SEM yang menunjukkan bahwa lapisannya paling halus.

Hubungan antara rapat arus ( $A/dm^2$ ) dan lapisan tipis NiTiAlN (wt%) ditunjukkan pada gambar 4.9



Gambar 4.9. Efek rapat arus pada partikel lapisan tipis NiTiAlN

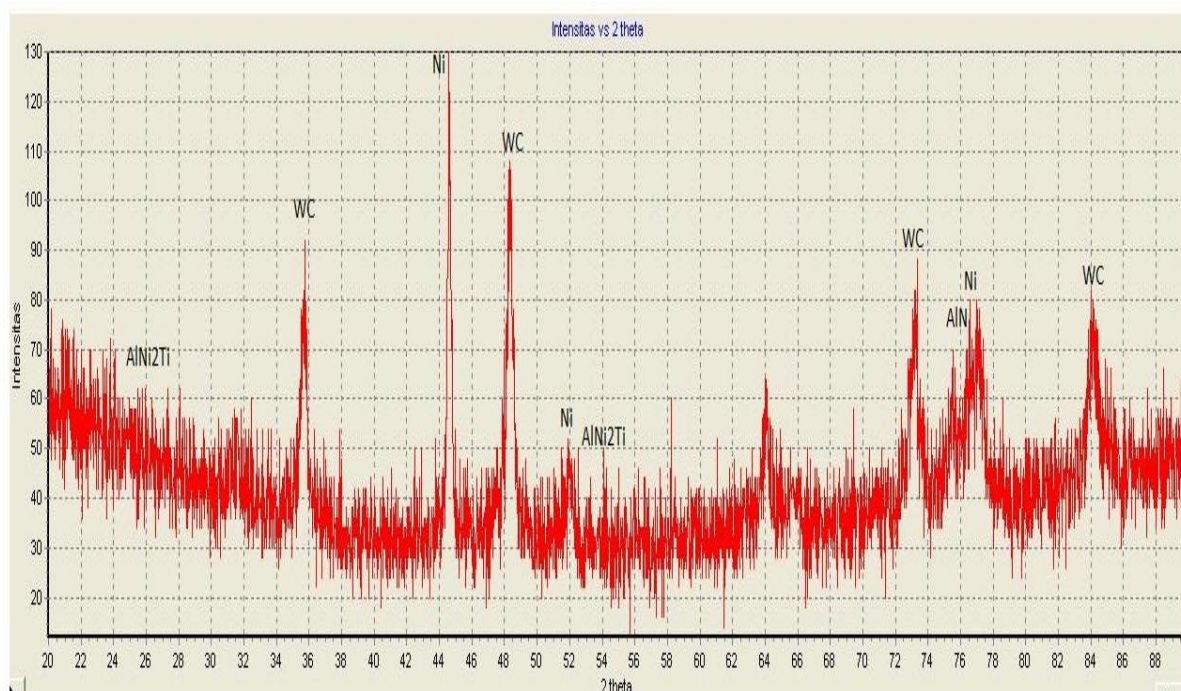
Pada proses elektrodeposisi larutan yang lain, biasanya semakin tinggi arus yang digunakan maka semakin banyak lapisan yang terbentuk. Namun hal ini tidak terjadi pada proses elektrodeposisi lapisan NiTiAlN seperti yang ditunjukkan pada penelitian ini. Dari rapat arus  $0.6 A/dm^2$  menuju  $0.9 A/dm^2$  komposisi lapisan tipis mengalami penurunan dan mulai dari  $0.9 A/dm^2$  menuju  $1.3 A/dm^2$  mengalami kenaikan. Variasi kepadatan arus ( $0.3 - 1.6$

$A/dm^2$ ) memiliki efek terhadap kualitas deposit dan kualitas deposit terbaik berada di antara 0.6 dan 1.3  $A/dm^2$ . Bila kerapatan arus lebih besar dari 1.6  $A/dm^2$  kualitas deposit akan menurun dan sedikit yang melekat<sup>[26]</sup>.

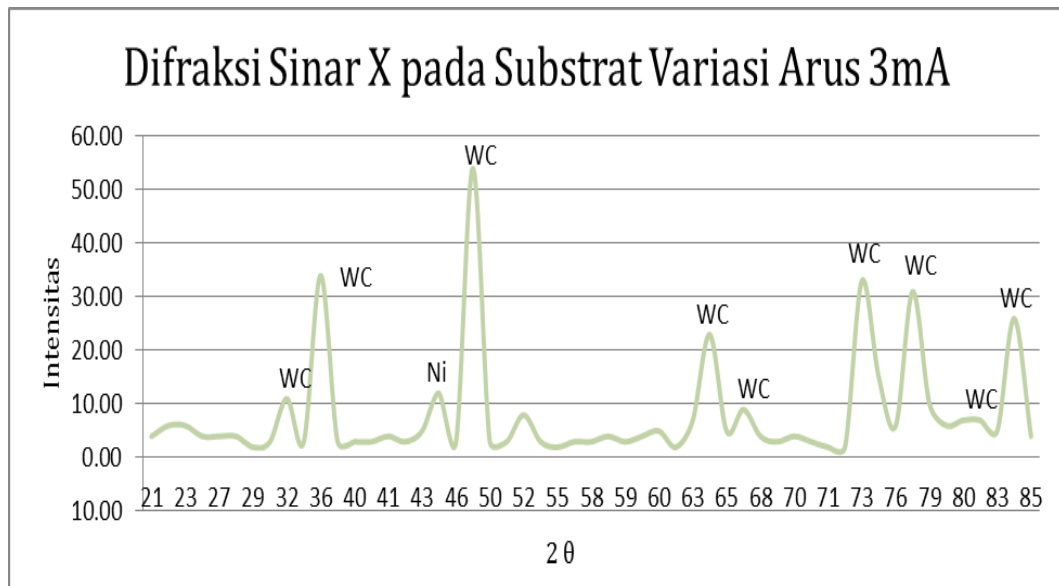
Jumlah partikel tersimpan diatur oleh fluks partikel ke permukaan logam yang merupakan jumlah partikel per satuan waktu dan area terdepositasi pada kerapatan arus tertentu. Oleh karena itu secara relatif, pada rapat arus yang lebih rendah (0.3 – 1.6  $A/dm^2$ ), fluks partikel meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan arus.

#### 4.2.3. Struktur Kristal

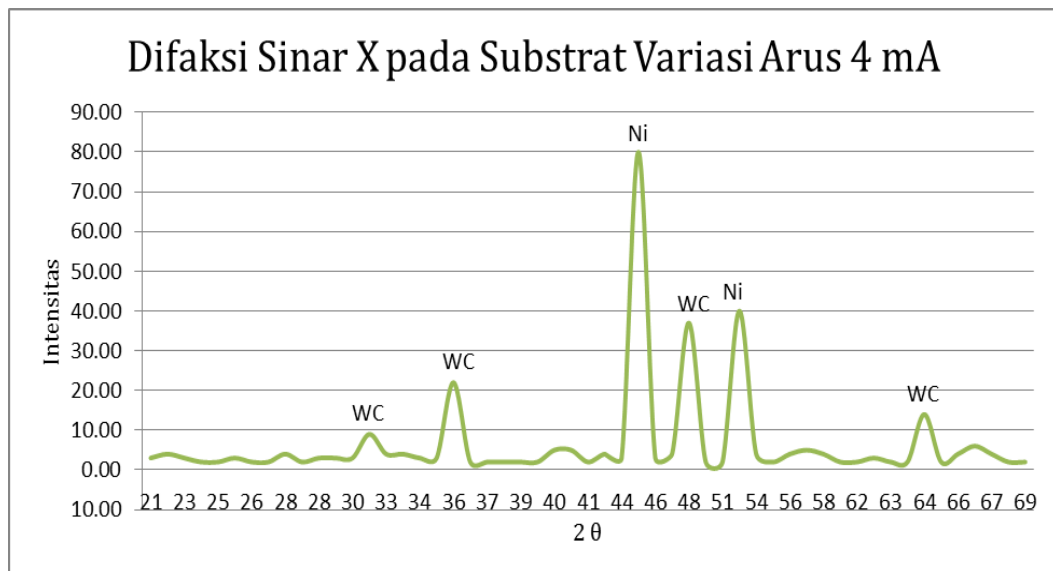
Uji XRD pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui sistem kristal, bidang hkl, parameter kisi dan ukuran grain. Grafik pada substrat WC terlapis 2 mA, 3 mA dan 4 mA ditunjukkan oleh gambar 4.10 – 4.12



Gambar 4.10. Grafik Intensitas vs 2 teta pada sampel 2 mA



Gambar 4.11. Grafik Intensitas vs 2 teta pada sampel 3 mA



Gambar 4.12. Grafik Intensitas vs 2 teta pada sampel 4 mA

Dengan menggabungkan data tiap puncak dengan kartu ICDD yang telah diberikan maka dapat diketahui bahwa baik pada substrat variasi arus 2, 3 dan 4 mA mempunyai struktur kristal face center cubic (FCC). Dari kartu tersebut juga didapat bahwa lapisan tipis pada substrat 2 mA terdeteksi adanya Nikel, AlN, dan

AlNi<sub>2</sub>Ti. Sedangkan pada substrat mA dan 4 mA hanya terdapat Nikel dan WC saja. Hal ini menunjukkan substrat 2 mA paling mendekati dengan struktur kristal NiTiAlN karena mempunyai fasa AlN, dan AlNi<sub>2</sub>Ti. Sedangkan dari ketiga sampel mempunyai fasa yang sama yaitu Nikel.

Dari pengolahan data pada lampiran didapat bahwa pada sampel 2mA, ukuran kisi berkisar 2,517 – 15,099 nm, dan ukuran grain berkisar 212,95 – 1038,88 nm. Untuk sampel 3mA, ukuran kisi berkisar 1,15 – 2,84 nm, dan ukuran grain berkisar 188,45 – 431,61 nm. Dan pada sampel 4mA, ukuran kisi berkisar 2,52 – 9,95 nm, dan ukuran grain berkisar 198,45 – 326,78 nm.

#### 4.2.4. Uji Korosi

Pengukuran uji korosi dilakukan dengan menggunakan metode *mass loss* (kehilangan massa). Metode *mass loss* ini didasarkan pada selisih massa awal sebelum pengujian korosi dengan massa akhir setelah pengujian korosi. Sebelum pengujian korosi, substrat yang telah terlapis dengan variasi arus dan substrat murni ditimbang terlebih dahulu.

Pengujian dilakukan dengan memasukkan substrat yang telah ditimbang kedalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5 M yang diisikan ke dalam botol kecil. Substrat – substrat tersebut diikat dengan benang pada batas area antara bagian terlapis dengan yang tidak. Hal ini dilakukan karena setelah substrat dipotong dari panjang awal, akan ada bagian yang tidak terlapis NiTiAlN, dan dari bagian tersebutlah korosi masuk ke dalam substrat. Pengujian seperti pada gambar 4.13



Gambar 4.13. Uji Korosi

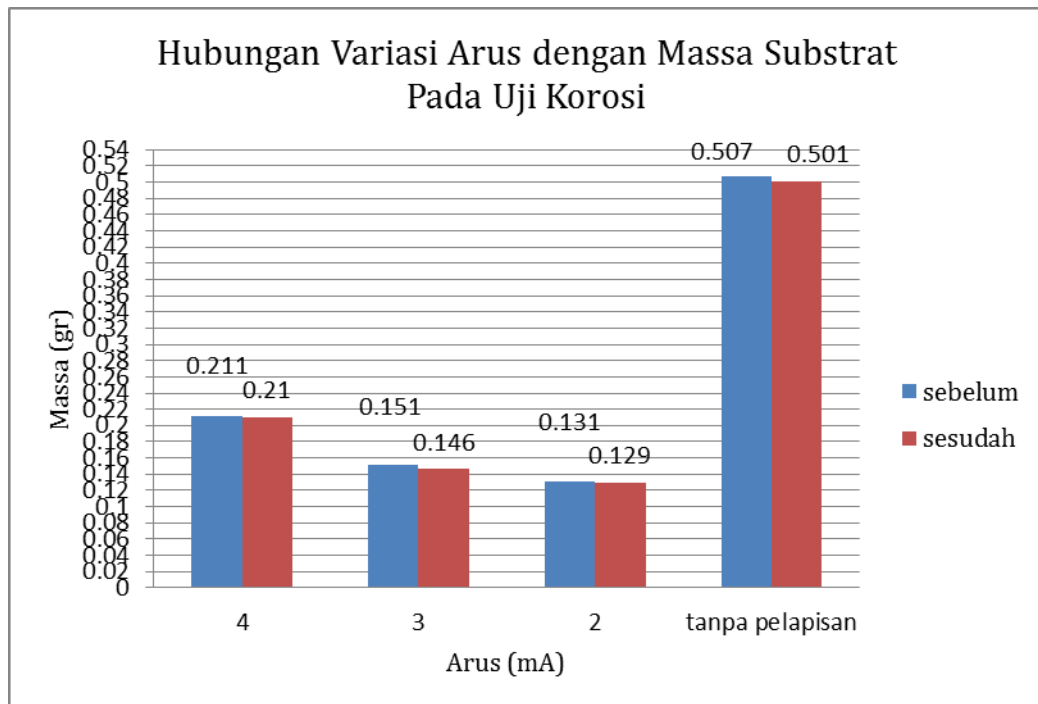
Proses pengorosan berlangsung selama 6 jam. Setelah proses pengorosan selesai, substrat diangkat dan dikeringkan kemudian ditimbang. Pengorosan ini menghasilkan pengurangan massa pada substrat. Berikut adalah tabel jumlah massa substrat yang dilapisi dan tidak sebelum dan sesudah uji korosi

Tabel.4.4 Jumlah massa Substrat Sebelum dan Sesudah Uji Korosi

No	Variasi	Massa (gram)	
		Sebelum uji korosi	Sesudah uji korosi
1	4 mA	0.211	0.210
2	3 mA	0.151	0.146
3	2 mA	0.131	0.129
4	Murni	0.507	0.501

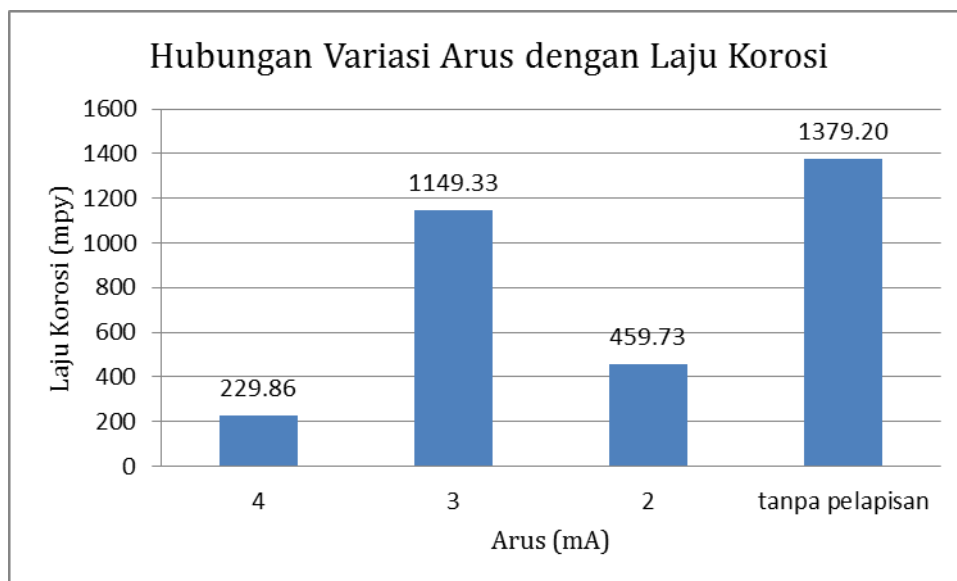
Berdasarkan tabel di atas didapat selisih massa kemudian dimasukkan ke dalam rumus 2.4 dengan perhitungan pada lampiran dapat diketahui besar laju korosi dari setiap substrat. Besar perbandingannya dapat dilihat melalui grafik berikut.





Gambar 4.14. Hubungan Variasi Arus dengan Massa Substrat Pada Uji Korosi

Besar laju korosi yang dialami oleh setiap substrat dapat dilihat pada grafik berikut



Gambar 4.15. Hubungan Variasi Arus dengan Laju Korosi

Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa lapisan tipis NiTiAlN berperan penting dalam menekan laju korosi yang terjadi apalagi substrat di rendam oleh asam sulfat. Variasi arus yang digunakan dalam proses pelapisan juga mengambil peran yang signifikan seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya pada bahasan morfologi dan komposisi. Pada laju korosi, substrat yang laju korosinya paling tinggi adalah pada substrat dengan variasi arus 3 mA yaitu 1149.33 mpy. Hal ini disebabkan lapisan yang menempel sedikit dan lapisan yang terbentuk pun mempunyai massa yang paling rendah dan telah dibuktikan dengan uji SEM dan EDS. Pada hasil XRD, dengan semakin kecilnya ukuran kisi dan grain maka bidang – bidang yang terbentuk semakin rapat sehingga laju korosi terhambat.

Sedangkan pada sample variasi 2 mA memiliki laju korosi yang lebih rendah yaitu sebesar 459.73 mpy, hal ini disebabkan lapisan yang terbentuk cukup bagus dan memiliki massa lapisan yang lumayan banyak pula. Hal ini dapat dilihat dari hasil SEM dan EDS. Sample 4 mA memiliki laju korosi yang paling rendah yaitu 229.86 mpy hal ini disebabkan karena lapisan tipis yang terbentuk mampu melapisi semua permukaan tungsten karbida yang tercelup. Dengan adanya lapisan tersebut, korosi tidak dapat masuk karena terhalang. Pada sample 4 mA ini pula menurut hasil SEM dan EDS mempunyai hasil yang paling bagus dan banyak. Sedangkan pada substrat tanpa terlapisi ternyata juga memiliki laju korosi yang lebih rendah daripada substrat 3 mA. Seharusnya substrat tanpa terlapisi memiliki laju korosi yang paling tinggi. Hal ini mungkin disebabkan ada impuritas pada substrat 3 mA dan kesalahan dalam penimbangan pada substrat tanpa terlapisi.

Ada yang menarik mengapa pada sample 3 mA tersebut mengalami penurunan. Setelah dicoba ulang dengan perlakuan yang sama sebanyak satu kali, ternyata menghasilkan lapisan tipis yang paing sedikit dan paling buruk pula. Hal ini dapat dikarenakan pada saat proses elektrodposisi, substrat terkena kotoran dari luar atau ketidak telitian pada saat proses penimbangan. Hal ini juga senada dengan penelitian Ibrahim Magdi, 2013 bahwa fluks partikel terdposisi pada rapat arus tertentu. Sehingga berdasarkan hasil yang diperoleh yaitu uji SEM, uji EDS, massa lapisan, dan Uji Korosi substrat dengan arus 4 mA atau rapat arus sebesar  $1.3 \text{ A/dm}^2$  memiliki lapisan tipis NiTiAlN yang paling baik dan dapat disimpulkan arus 4 mA merupakan arus optimum dalam penelitian ini.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Rangkaian elektrodeposisi sederhana dua elektroda dapat dibuat dan mampu menghasilkan lapisan tipis NiTiAlN
2. Massa yang terbentuk pada substrat variasi 4 mA adalah 0.002 gr lebih besar daripada substrat yang lain yaitu 0.001 gr
3. Berdasarkan hasil SEM dan EDS, morfologi dan komposisi yang paling baik adalah 4 mA. Hasil SEM menunjukkan permukaan yang bagus dan hasil EDS substrat variasi 4 mA memiliki massa paling besar yaitu 82.71%, lebih tinggi daripada substrat yang lain yaitu pada substrat 2 mA yaitu 69.18% dan pada substrat 3 mA adalah 62.62%.
4. Hasil XRD menunjukkan ketiga sampel mempunyai fasa yang sama yaitu Nikel dan mempunyai struktur kristal FCC dan pada substrat variasi 4mA mempunyai kisi dan grain yang relatif kecil yaitu 2,52 – 9,95 nm 198,45 – 326,78 nm
5. Uji korosi paling rendah terdapat pada substrat 4 mA yaitu yaitu 229.86 mpy. Hal ini dijelaskan karena morfologi dan komposisi lapisan tipis NiTiAlN paling bagus.

#### 5.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan bisa membuat arus lebih dari 4 mA sehingga bisa membuat grafik yang lebih bagus
2. Menggunakan neraca yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E.J Podlaha. 2001. *Selective Electrodeposition of Nanoparticulates into Metal Matrices*. *Nano Letters*, 1 (8):413-416
- [2] V. Stan, G. J. V. H. Maritza, K. Pahla, P. Jan. 2005. *Different approaches to Superhard Coatings and Nanocomposites* [J]. *Thin Solid Films*, 476: 1 – 29
- [3] B.S. Xu, H. D. Wang, S. Y. Dong, B.Jiang, W. Y. Tu. 2005. *Electrodeposition Nikel Silica Nano – composites Coating* [J]. *Electrochemistry Communications*, , 7: 572 – 575
- [4] Zhu Xu – bei, Cai Chao, Zheng Guo – qu, Li Jin – feng. 2011. *Electrodeposition and Corrosion Behaviour of Nanostructure Ni-TiN Composite Film*. *Trans. Nonferus Met.Soc.China*, Vol 21, pp 22162224
- [5] Lin C S, Huang K. C. 2004. *Codeposition ans Microstructure of Nikel – SiC Composites Coating Electrodeposited from Sulphamate Bath* [J]. *J. Appl Electrochem*, 34: 1013 – 1019
- [6] Budi Esmar, Hadi Nasbey, Agus Setyo Budi. 2013. *Electrodeposition of Ni-TiAlN Nanocomposite Coating For Wear and Corrosion Protection*. Jakarta: Proceeding Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta.
- [7] Yoon, S. Y., Lee, K. o., Kang, S. S., Kim, K.H. 2002. *Comparison for Mechanical Properties Between TiN and TiAlN Coating Layer by AIP Technique*. *Journal of Material Processing and Technology*, Vol. 130-131, pp. 260-265
- [8] Sergiy Korablov, M.A.M. Ibrahim, Masahiro Yoshimura. 2005. *Hydrothermal Corrosion of TiAlN and CrN PVD Films on Stainless Steel Corrosion Science* (47 92005) 1839-1854
- [9] R.M. Soutoa, H. Alanyali. 2000. *Electrochemical Characteristics of Steel Coated with TiN and TiAlN Coating Corrosion Science*.42 (2000) 2201-2211
- [10] Syahputra, Alief Restu. 2014. *Pengaruh Kuat Arus Terhadap Morfologi dan Struktur Mikro Lapisan Tipis Ni-TiAlN dengan Teknik Elektrodeposisi*. Jakarta. Skripsi: Universitas Negeri Jakarta.
- [11] W.D. Callister and D.G. Rethwisch. 2010) *Material Science and Engineering, 8th edition*, John Wiley & sons,

- [12] Zhang, S., Sun, D., Fu, Y., Pei, Y.T., De Hosson, J.Th.M. 2005. *Ni-Toughened nc-TiN/a-SiNx Nanocomposite Thin Film. Surface Coating and Technology*, Vol. 200, pp. 1530-1534,
- [13] Huang, C.T., Duh, J.G. 1995. *Deposition of (Ti,Al)N Films on A2 Tool Steel by Reactive R.F. Magnetron Sputtering. Surface and Coatings Technology*, Vol. 71, pp. 259-266,
- [14] PalDey, S., Deevi, S.C., Alford. T.L. 2004. *Cathodic Arc Deposited Thin Film Coatings Based on TiAl Intermetallics. Intermetallics*, Vol. 12, pp. 985–991,
- [15] Kimura, A., Kawate, M., Hasegawa, H., Suzuki, T. 2003. *Anisotropic Lattice Expansion and Shrinkage of Hexagonal TiAlN and CrAlN Films. Surface and Coatings Technology*, Vol. 169 –170, pp. 367–370
- [16] Tatang A. Taufik, 2000: *Teknologi Pelapisan Logam secara Listrik*
- [17] Sutomo, 2007. *Pengaruh Arus dan Waktu pada Pelapisan Nikel dengan Elektroplating untuk Bentuk Plat*. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang
- [18] Zumdhal, S.S., Zumdahl, S.A. 2007. *Chemistry. 7th edition*, Boston: Houghton Mifflin Company. P. 229-273
- [19] GT Burstein. 2006, *Materials Science and Metallurgy*. Universty of Cambridge.
- [20] Toifur, M., Wibowo, T., Wiryoadi dan Siswanto, B., 2002, *Pengaruh Suhu Substrat Pada Pertumbuhan Struktur Kristal dan Resistivitas Lapisan Tipis Ni73Fe27*, Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia., **A5** (0574),
- [21] Tata Surdia. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- [22] Mawardah, Ade. 2008. *Desain Sistem Elektrodeposisi Untuk Sumber Radioaktif*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- [23] Sugiyarta. 2012. *Pengaruh konsentrasi larutan dan kuat arus terhadap ketebalan pada proses pelapisan nikel untuk baja karbon rendah*. Program Studi Magister Teknik Mesin. Universitas Dipenogoro,
- [24] Keba Moto. (2002). *Prosedur Pengukuran Kekerasan yang Benar Pada Nanokomposit*. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia,Depok. Indonesia,
- [25] Singh, D.K., Tripathi, M. K., Singh, V. B. 2013. *Electrodeposition and characterization of Ni-WC composite coating from non-aqueous bath. International Journal of Materials Science and Applications 2(2) (2013): 68-73.*

- [26] Magdy A.M. Ibrahim, F. Kooli and Saleh N.2013 Alamri. *Electrodeposition and Characterization of Nickel–TiN Microcomposite Coatings. International Journal of Electrochemical Science. 8 (2013) 12308 - 12320*

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta :

Nama : Maulidatul Khasanah  
No. Registrasi : 3225111277  
Jurusan : Fisika  
Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "*Desain Sistem Elektrodeposisi untuk Proses Pelapisan Ni-TiAlN pada Substrat Tungsten Karbida*" adalah :

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian pada bulan Mei hingga Juni 2015.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar – benarnya dan saya bersedia menanggung segala akibat jika pernyataan saya tidak benar.

Jakarta, Juli 2015



Maulidatul Khasanah



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



MAULIDATUL KHASANAH lahir di Magelang, sebagai anak keempat dari empat bersaudara pada tanggal 3 September 1993. Dilahirkan oleh pasangan paling bahagia yaitu Nur Sahli dan Nasikah.

Pendidikan formal dimulai dari SDN 3 Bandongan (1999 – 2005), SMPN 4 Magelang (2005–2008), SMA N 3 Magelang (2008 – 2011) kemudian di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta. Selama kuliah pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar, peserta olimpiade OSN-Pertamina, dan menjadi pemakalah Seminar Nasional Fisika di Jurusan Fisika UNJ. Pernah bekerja *part time* sebagai pengajar untuk mata pelajaran matematika dan fisika SMP dan SMA. Tahun 2014 bergabung dengan P3TKEBTKE litbang ESDM dalam menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan. Diluar bidang akademik, penulis juga aktif di berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan dan sosial. Pengalaman organisasi yang pernah diikuti selama kuliah adalah menjadi staff di BEMJ Fisika, Science Club FMIPA, KAMMI komisariat UNJ dan KAMMI Daerah Jakarta.