



## **MODIFIKASI PADUAN U-6Zr DENGAN NIOBIUM: KARAKTERISTIK MIKROSTRUKTUR, KEKERASAN, DAN SIFAT KOROSI DALAM LINGKUNGAN DEAERASI**

**SITI MARDIAH**



**KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## **PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Modifikasi Paduan U-6Zr dengan Niobium: Karakteristik Mikrostruktur, Kekerasan, dan Sifat Korosi dalam Lingkungan Deaerasi” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Siti Mardiah  
G4401211028



## **ABSTRAK**

SITI MARDIAH. Modifikasi Paduan U-6Zr dengan Niobium: Karakteristik Mikrostruktur, Kekerasan, dan Sifat Korosi dalam Lingkungan Deaerasi. Dibimbing oleh BETTY MARITA SOEBRATA dan MASRUKN.

Paduan U-6Zr merupakan bahan bakar reaktor riset yang stabil pada suhu radiasi, namun masih memiliki keterbatasan akibat terbentuknya fase  $\alpha$ -U yang rapuh dan rentan korosi. Penambahan Nb diduga meningkatkan kestabilan fase  $\gamma$ -U yang lebih ulet serta memperbaiki ketahanan korosi dalam lingkungan deaerasi. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penambahan Nb sebesar 0%, 1%, 4%, dan 7% terhadap mikrostruktur, kekerasan, dan sifat korosi paduan U-6Zr. Metode meliputi penyiapan sampel uji, uji kekerasan mikro Vickers, karakterisasi struktur mikro dengan mikroskop optik dan SEM-EDS, serta uji korosi menggunakan metode Tafel dalam lingkungan deaerasi ( $DO = 1,2 \text{ mg/L}$ ) pada pH asam (5,61) dan netral (7,28). Hasil menunjukkan Nb menurunkan kekerasan akibat pembentukan fase  $\gamma$ -U (BCC) yang lebih lunak, serta membentuk lapisan pasif oksinitrida yang meningkatkan ketahanan korosi. Laju korosi terendah diperoleh pada 4% Nb (pH asam) dan 7% Nb (pH netral). Analisis SEM-EDS sebelum dan setelah uji korosi mengonfirmasi perubahan mikrostruktur dan kemungkinan produk korosi yang terbentuk pada lingkungan deaerasi.

Kata kunci: bahan bakar nuklir, ketahanan korosi, mikrostruktur

## **ABSTRACT**

SITI MARDIAH. Modification of Alloy with Niobium: Microstructural, Characteristics, Microhardness, and Corrosion Behavior in Daeaerated Environment. Supervised by BETTY MARITA SOEBRATA and MASRUKN.

The U-6Zr alloy is utilized as a fuel material in research reactors due to its stability at irradiation temperatures. However, it remains limited by the formation of a brittle  $\alpha$ -U phase, that is susceptible to corrosion. The addition of Nb is believed to enhance the stability of the more ductile  $\gamma$ -U phase and improve corrosion resistance in a deaerated environment. This study evaluates the effect of Nb additions at 0%, 1%, 4%, and 7% on the microstructure, hardness, and corrosion behavior of the U-6Zr alloy. The methods include sample preparation, Vickers microhardness testing, microstructural characterization using optical microscopy and SEM-EDS, and corrosion testing using the Tafel method in a deaerated solution ( $DO = 1.2 \text{ mg/L}$ ) under acidic (pH 5.61) and neutral (pH 7.28) conditions. The results indicate that Nb reduces hardness due to the formation of the softer  $\gamma$ -U (BCC) phase and promotes the formation of a passive oxynitrida layer that enhances corrosion resistance. The lowest corrosion rates were observed at 4% Nb in acidic conditions and 7% Nb in neutral conditions. SEM-EDS analysis before and after corrosion testing confirmed microstructural changes and the possible formation of corrosion products in the deaerated environment.

*Keywords:* nuclear fuel, corrosion resistance, microstructure



**@Hak cipta milik IPB University**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah,
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*



## **MODIFIKASI PADUAN U-6Zr DENGAN NIOBIUM: KARAKTERISTIK MIKROSTRUKTUR, KEKERASAN, DAN SIFAT KOROSI DALAM LINGKUNGAN DEAERASI**

**SITI MARDIAH**

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana pada  
Program Studi Kimia

**KIMIA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**BOGOR**  
**2025**



## @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

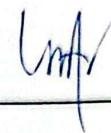
Tim Pengujii pada Ujian Skripsi:  
1. Dr. Tetty Kemala, S.Si., M.Si.  
2. Dr. Budi Arifin, S.Si., M.Si.  
3. Zulhan Arif, S.Si., M.Si.

**IPB University**



Judul Skripsi : Modifikasi Paduan U-6Zr dengan Niobium: Karakteristik Mikrostruktur, Kekerasan, dan Sifat Korosi dalam Lingkungan Deaerasi  
Nama : Siti Mardiah  
NIM : G4401211028

Disetujui oleh


Pembimbing 1:  
Betty Marita Soebrata, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:  
Ir. Masrukan, M.T.

Diketahui oleh


Ketua Ketua Departemen Kimia:  
Prof. Dr. Dra. Dyah Iswantini, M.Sc.Agr.  
NIP. 196707301991032001

Tanggal Ujian: 21 Juli 2025

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## ©Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## IPB University





- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## PRAKATA

*Alhamdulillah*, segala puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Modifikasi Paduan U-6Zr dengan Niobium: Karakteristik Mikrostruktur, Kekerasan, dan Sifat Korosi dalam Lingkungan Deaerasi” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, saya menyadari bahwa pencapaian ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada Betty Marita Soebrata, S.Si., M.Si., selaku pembimbing pertama, atas segala bimbingan, nasihat, dan arahannya yang sangat berarti, baik selama masa studi maupun dalam penyusunan skripsi ini; Ir. Masrukan, MT., selaku pembimbing kedua, atas kontribusi dan arahannya yang sangat membantu selama proses penelitian berlangsung; beberapa pihak di PRTBNLR BRIN, khususnya Bapak Slamet Pribadi, Bapak Juan, Ibu Heri, Ibu Rosika, dan Hajar Annisa, atas bantuan, dukungan teknis, serta pengarahan selama kegiatan penelitian di laboratorium; serta tidak lupa kepada Bapak Alimin dan Ibu Euis Rohayati, orang tua tercinta, atas segala kasih sayang, dorongan, dan dukungan yang tiada henti hingga saya dapat menempuh pendidikan ini sampai tahap akhir.

Saya sepenuhnya menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Bogor, Agustus 2025

*Siti Mardiah*

## ©Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## IPB University





Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
<b>II METODE</b>	<b>4</b>
2.1 Waktu dan Tempat	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Prosedur Kerja	4
2.4 Analisis Data	8
<b>III HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>9</b>
3.1 Karakteristik Awal Paduan	9
3.2 Sifat Korosi Paduan	16
3.3 Karakteristik Paduan Setelah Korosi	22
<b>IV SIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>34</b>
4.1 Simpulan	34
4.2 Saran	34
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>38</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	<b>54</b>



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR TABEL

2.1	Kode sampel dan komposisi berat unsur paduan	4
3.1	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb0	13
3.2	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb1	14
3.3	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb4	15
3.4	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb7	16
3.5	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb0 setelah korosi pH 5,61	24
3.6	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb1 setelah korosi pH 5,61	25
3.7	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb4 setelah korosi pH 5,61	26
3.8	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb7 setelah korosi pH 5,61	28
3.9	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb0 setelah korosi pH 7,28	29
3.10	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb1 setelah korosi pH 7,28	30
3.11	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb4 setelah korosi pH 7,28	31
3.12	Komposisi unsur (EDS) sampel p-Nb7 setelah korosi pH 7,28	32

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Skema rangkaian pengujian laju korosi menggunakan Gamry Reference 600	6
2.2	Urutan proses pembuatan sekuen uji korosi dengan perangkat Gamry Reference 600	7
3.1	Perubahan nilai kekerasan p-Nb0–p-Nb7 sebelum korosi	9
3.2	Mikrostruktur dengan mikroskop optik sampel (a). p-Nb0 (b). p-Nb1 (c). p-Nb4 (d). p-Nb7	10
3.3	Mikrostruktur (SEM) sampel p-Nb0 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	12
3.4	Mikrostruktur (SEM) sampel p-Nb1 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	13
3.5	Mikrostruktur (SEM) sampel p-Nb4 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	14
3.6	Mikrostruktur (SEM) sampel p-Nb7 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	15
3.7	(a). Kurva Tafel lingkungan deaerasi pH 5,61 (b). Nilai kurva Tafel korosi deaerasi pH 5,61	19
3.8	(a). Kurva Tafel lingkungan deaerasi pH 7,28 (b). Nilai kurva Tafel korosi deaerasi pH 7,28	20
3.9	Kurva Tafel pH 5,61 vs pH 7,28 deaerasi (a). p-Nb0 (b). p-Nb1 (c). p-Nb4 (d). p-Nb7	21
3.10	Perubahan nilai kekerasan p-Nb–p-Nb7 sebelum dan setelah korosi dalam lingkungan deaerasi	23
3.11	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 5,61 sampel p-Nb0 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	24



3.12	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 5,61 sampel p-Nb1 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	25
3.13	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 5,61 sampel p-Nb4 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	26
3.14	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 5,61 sampel p-Nb7 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	27
3.15	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 7,28 sampel p-Nb0 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	29
3.16	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 7,28 sampel p-Nb1 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	30
3.17	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 7,28 sampel p-Nb4 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	31
3.18	Mikrostruktur (SEM) setelah korosi pH 7,28 sampel p-Nb7 dengan titik uji EDS pada area 1, 2, dan 3	32

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir penelitian	39
2	Data uji XRF	39
3	Data nilai kekerasan sebelum korosi	40
4	Tabel komposisi unsur dan spektrum EDS paduan sebelum korosi	41
5	Parameter Tafel hasil uji korosi	44
6	Hasil nilai kekerasan setelah korosi	45
7	Tabel komposisi unsur dan spektrum EDS paduan setelah korosi lingkungan deaerasi pH 5,61	47
8	Tabel komposisi unsur dan spektrum EDS paduan setelah korosi lingkungan deaerasi pH 7,28	50

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.