

**STUDI TENTANG SIFAT KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO DAN  
KOMPOSISI KIMIA PADA MATERIAL *Zr-4* KELONGSONG  
BAHAN BAKAR NUKLIR (PLTN) JENIS *PWR*.**



MUHAMMAD ADAM FIRDAUS

NIM: 41319110058

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA 2023

LAPORAN TUGAS AKHIR

STUDI TENTANG SIFAT KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO DAN  
KOMPOSISI KIMIA PADA MATERIAL *Zr-4* KELONGSONG  
BAHAN BAKAR NUKLIR (PLTN) JENIS *PWR*.



Disusun oleh:

Nama : Muhammad Adam Firdaus  
NIM : 41319110058  
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
FEBRUARI 2024

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Adam Firdaus

NIM : 41319110058

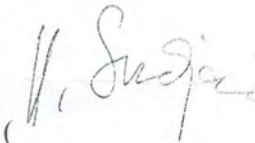
Program Studi : Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : STUDI TENTANG SIFAT KEKERASAN ,MIKRO STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA PADA MATERIAL ZR-4 KELONGSONG BAHAN BAKAR NUKLIR (PLTN) JENIS PWR.

Telah berhasil dipertahankan pada sidang dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Disahkan oleh :

Pembimbing : Prof. Dr. Usman Sudjadi M.Sc  
NIK/NIP : 197580207

()

Penguji 1 : Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT.  
NIK/NIP : 22190021

()

Penguji 2 : Dra. I Gusti Ayu Arwati, Ph.D  
NIK/NIP : 197580672

()

Penguji 3 : Dr. Nurato M.T.  
NIK/NIP : 197580211

()

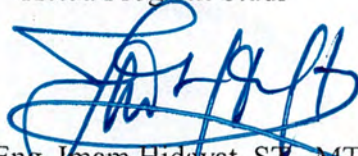
Jakarta, 3 Februari 2024

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

()  
Dr. Zulfa Fitri Ikatinasari, M.T  
NIK : 112750348

Ketua Program Studi

()  
Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT.  
NIK : 22190021

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Adam Firdaus

Nim : 413199110058

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Studi Tentang Sifat Kekerasan ,Struktur Mikro dan Komposisi kimia Pada Material *Zr-4* Kelongsong Bahan Bakar Nuklir (PLTN) Jenis *PWR*.

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan tugas akhir dengan sesungguhnya dan hasil laporan tugas akhir yang telah saya buat ini merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata kemudian dari penulisan laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil Plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, Maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Jakarta, 03 Februari 2024



Muhammad Adam Firdaus

## PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Tentang Kekerasan Mekanik Dan Struktur Mikro Dari Material Zr-4 Selongsong Bahan Bakar Nuklir (PLTN) Jenis PWR.” dapat terselesaikan. Penulis banyak mendapat bimbingan dan dukungan oleh karena itu ucapan terima kasih ini dipersembahkan untuk orang-orang yang telah berjasa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, yaitu kepada :

1. Prof. Dr. Andi Ardiansyah, M.T, selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT., selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
4. Gilang Awan Yudhistira, ST., M.T selaku Sekertaris Program Studi dan Koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
5. Gian Villany Golwa, ST., M.Si., selaku Kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
6. Prof. Dr. Usman Sudjadi, M.Sc, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
7. Muhammad Julai dan Ibu Ika Yuniati selaku orang tua penulis. Muhammad Fajarul akbar, Muhammad Dhobit Assyalam, Muhammad Darril Fauzi ,serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, memanjatkan doa kepada penulis dengan penuh kasih sayang.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan yang mungkin terjadi dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak yang membacanya.

Jakarta,03 Februari 2024



Mauhammad Adam Firdaus

## ABSTRAK

Paduan zirkaloi-4 (*Zr-4*) saat ini digunakan sebagai bahan selongsong elemen bakar untuk PLTN tipe *PWR* (*Pressure Water Reactor*). Material ini memiliki ketahanan yang sangat baik ketika terekspos iradiasi neutron dan kontak dengan air pendingin reaktor pada kondisi normal operasi PLTN, yaitu suhu sekitar 350°C. Akan tetapi, pada kondisi kecelakaan material ini dapat terekspos pada suhu yang lebih tinggi. *Zr-4* dapat teroksidasi menghasilkan gas hidrogen yang dapat menimbulkan ledakan. Selain itu, hidrogen yang juga dapat menyebabkan hidridasi *Zr-4* yang berdampak negatif pada integritas materialnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan ketahanan bahan pada *Zr-4* yang ideal serta tahan pada tekanan dan suhu yang ditentukan, jika melebihi suhu yang ditentukan maka perlu dimodifikasikan dengan bahan-bahan lainnya, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga Nuklir yang dimana Indonesia merupakan negara yang berkembang dalam mengembangkan pembangkit listrik tenaga nuklir jenis *PWR* ini. *PWR* merupakan jenis reaktor yang digunakan untuk pembangkit listrik dan reaktor ini dihasilkan dari tingkat tekanan pada air reaktor sehingga dapat menggerakkan turbin dan turbin diteruskan menuju generator lalu menghasilkan energi listrik.

**Kata Kunci:** Nuklir, Zirkaloi-4(*Zr-4*), *PWR*



## **ABSTRACT**

*Zirkaloi-4 (Zr-4) alloy is currently used as fuel element casing material for PWR type nuclear power plants. ). This material has excellent resistance when exposed to neutron irradiation and in contact with reactor cooling water under normal NPP operating conditions, namely a temperature of around 350°C. However, in accident conditions this material can be exposed to higher temperatures. Zr-4 can be oxidized to produce hydrogen gas which can cause an explosion. Apart from that, hydrogen can also cause hydration of Zr-4 which has a negative impact on the integrity of the material. This research aims to obtain ideal Zr-4 material resistance and resistance to the specified pressure and temperature. If it exceeds the specified temperature, it needs to be modified with other materials. This research aims to develop a nuclear power plant, where Indonesia is a developing country in developing this type of PWR nuclear power plant. PWR is a type of reactor used to generate electricity and this reactor is produced from the pressure level in the reactor water so that it can move the turbine and the turbine continues to the generator and then produces electrical energy.*

**Keywords:** Nuclear, Zirkaloi 4 ,PWR



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL	x
DAFTAR SINGKATAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 MANFAAT	3
1.5 RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 PENELITIAN TERDAHULU	5
2.2 Jenis Jenis Reaktor Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)	10
2.2.1 <i>Boiling Water Reactor</i>	10
2.2.2 <i>Pressure Water Reactor</i>	12
2.3 Zirkaloi 4 (Zr-4)	16
2.3.1 Zr-4 Sebagai Kelongsong Bahan Bakar	17
2.4 UJI KEKERASAN (HARDNESS)	18
2.5 UJI STRUKTUR MIKRO	21
2.6 UJI KOMPOSISI KIMIA	23
BAB III METODOLOGI	26
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	26
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	27
3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan Pengujian	29
3.3 Langkah Langkah Pengujian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Pendahuluan	31



4.2 Pengujian Kekerasan ( <i>Hardness</i> )	31
4.3 Pengujian Mikro Struktur <i>SEM EDX</i>	33
4.3.1 <i>Mapping Point</i>	35
4.4 Pengujian <i>XRF</i>	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 KESIMPULAN	39
5.2 SARAN	39
DAFTAR PUSTAKA	40



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Boiling Water Reactor(BWR)</i>	10
Gambar 2.2 <i>Pressure Water Reactor (PWR)</i>	13
Gambar 2.3 <i>Zirkaloi 4 (Zr-4)</i>	16
Gambar 2.4 <i>Micro Vickers</i>	20
Gambar 2.5 <i>SEM EDX(Scanning Electron Microscope Energy Dispersive Xray)</i>	22
Gambar 2.6 <i>XRF(X-ray Fluorescence)</i>	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2 Potongan Zr-4 5 mm x 5 mm	29
Gambar 4.1 Titik 1 dan 2 uji <i>hardness</i>	32
Gambar 4.2 Titik 3 dan 4 uji <i>hardness</i>	32
Gambar 4.3 Titik 5 uji <i>hardness</i>	32
Gambar 4.4 Diagram <i>hardness</i>	33
Gambar 4.5 Perbesaran 500 x	35
Gambar 4.6 Perbesaran 1000 x	35
Gambar 4.7 Perbesaran 1500 x	35
Gambar 4.8 <i>Zr-2</i> Perbesaran 500 X	35
Gambar 4.9 <i>Zr-2</i> Perbesaran 1000 X	35
Gambar 4.10 <i>Zr-2</i> Perbesaran 1500 X	35
Gambar 4.11 <i>Mapping Point Zr-4</i>	35
Gambar 4.12 Data <i>XRF</i>	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2 Paduan Material dan Komposisinya	12
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan <i>XRF</i>	24
Tabel 3.1 Alat alat	27
Tabel 4.1 Hasil Penelitian terdahulu	31
Tabel 4.2 Hasil Uji kekerasan	32
Tabel 4.3 Atom pada <i>Zr-4</i>	36
Tabel 4.4 Data <i>XRF</i>	37
Tabel 4.5 Komposisi Kimia <i>Zr-2</i>	38



## DAFTAR SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>
$\alpha$	<i>Alpha</i>
$\beta$	<i>Beta</i>
$\gamma$	<i>Gamma</i>
$n$	<i>Neutron</i>
$\mu m$	<i>Newton meter</i>
$Hv$	<i>Hardvickers</i>



## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
EBT	Energi Baru dan Terbarukan
PLTN	Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
<i>PWR</i>	<i>Pressure Water Reactor</i>
<i>BWR</i>	<i>Boiling Water Reactor</i>
<i>HWR</i>	<i>Heat Water Reactor</i>
<i>Zr-4</i>	<i>Zirkaloi- 4.</i>
<i>Zr-2</i>	<i>Zircaloi -2</i>
<i>UO2</i>	<i>Uranium Oksida</i>
<i>SEM</i>	<i>Scanning Electron Microscope</i>
<i>EDX</i>	<i>Energy Dispersive X-ray</i>
<i>Zr</i>	<i>Zirconium</i>
<i>NaCl</i>	<i>Natrium Clorida</i>
<i>Nb</i>	<i>Niobium</i>
<i>N</i>	<i>Nitrogen</i>
<i>O</i>	<i>Oksigen</i>
<i>H2</i>	<i>Hidrogen</i>
<i>DHC</i>	<i>delayed hydride cracking</i>
<i>LOCA</i>	<i>loss of coolant accident</i>
<i>Sn</i>	<i>Stannum</i>
<i>SCC</i>	<i>Stress Corrosion Cracking</i>
<i>Mm</i>	<i>Millimeter</i>
<i>WDXRF</i>	<i>wavelength dispersive XRF</i>
<i>EDXRF</i>	<i>Energy Dispersive XRF</i>