

## Table Of Content

<b>Journal Cover</b>	2
<b>Author[s] Statement</b>	3
<b>Editorial Team</b>	4
<b>Article information</b>	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article	5
<b>Title page</b>	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
<b>Article content</b>	8

**ISSN (ONLINE) 2598-9936**



**INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES**  
PUBLISHED BY  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

## Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

## Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

## EDITORIAL TEAM

### Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

## Article information

**Check this article update (crossmark)**



**Check this article impact (\*)**



**Save this article to Mendeley**



(\*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

## Enhancing Safety and Durability of AlMgSi Research Reactor Material through Plasma Nitriding

*Peningkatan Keamanan dan Daya Tahan Material Reaktor Riset AlMgSi melalui Nitridasi Plasma*

**Bangun Pribadi, bangunpribadisttn@gmail.com, (1)**

*Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Indonesia*

**Dwi Priyantoro, , (0)**

*Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Indonesia*

**Shokhul Lutfi , , (0)**

*Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Indonesia*

**Tjipto Sujitno , , (0)**

*Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Indonesia*

<sup>(1)</sup> Corresponding author

### Abstract

This study focuses on enhancing the safety and durability of AlMgSi, a research reactor fuel cladding/structural material, through surface hardening using the plasma nitriding method. The goal is to improve the material's resistance to corrosion while maintaining its integrity under nuclear reactor conditions. AlMgSi samples were nitrided at 448 K for varying times, and the workpiece with the highest surface hardness underwent corrosion and composition tests. The results demonstrated a significant increase in surface hardness by 49% (from 62.35 VHN to 92.79 VHN) and a notable reduction in corrosion rate by 69% (from 11.22 mpy to 3.51 mpy) after plasma nitriding for 3 hours at 448 kelvin.

### Highlights:

- Significantly improved surface hardness: Plasma nitriding at 448 K for 3 hours resulted in a remarkable 49% increase in surface hardness, enhancing the material's resistance to wear and deformation.
- Effective corrosion protection: The plasma-nitrided AlMgSi exhibited a notable 69% decrease in corrosion rate, ensuring the material's longevity and safety under harsh reactor environments.
- Enhanced nitrogen content: The nitrogen content in AlMgSi increased from 0 to 5.13% atoms after the nitriding process, contributing to the material's improved mechanical and chemical properties.

# Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 23 (2023): July

DOI: 10.21070/ijins.v24i.951 . Article type: (Innovation in Mechanical Engineering)

Published date: 2023-07-25 00:00:00

---

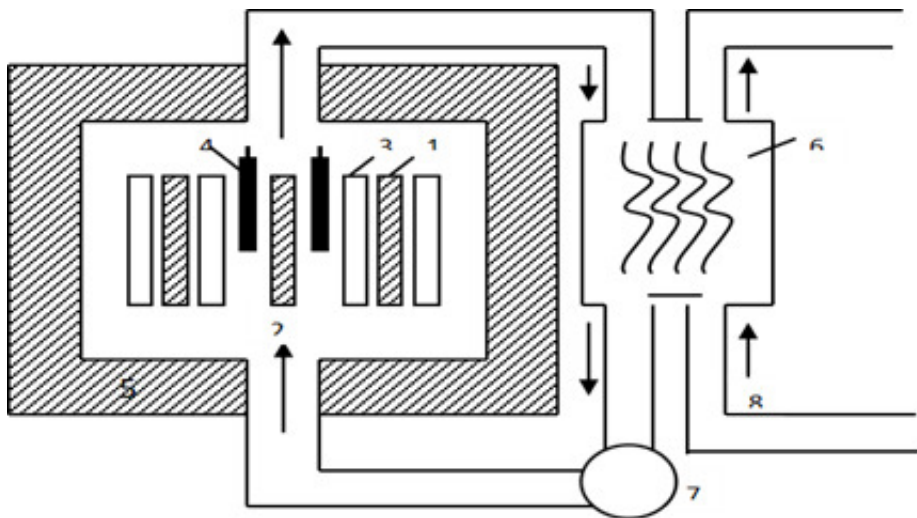


## Pendahuluan

Reaktor riset adalah reaktor nuklir yang digunakan untuk keperluan penelitian [1]. Salah satu komponen utama dari reaktor riset adalah bahan bakar uranium . Uranium terbungkus di dalam bahan struktur/kelongsong bahan bakar. Bahan struktur/kelongsong bahan bakar terbuat dari paduan logam AlMgSi [2]. Dalam pengoperasian reaktor nuklir, faktor keselamatan sangat diperhatikan. Sebagai bahan struktur, AlMgSi memiliki sifat keras dan tahan korosi. Dalam penelitian ini dilakukan pengerasan permukaan AlMgSi dengan metode nitridasi plasma pada temperatur 448 kelvin. Selanjutnya pada permukaan AlMgSi yang telah dinitridasi dilakukan pengujian.

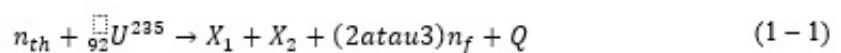
## Landasan Teori

Reaktor nuklir sebagai tempat berlangsungnya reaksi nuklir yang terkendali secara umum tersusun atas perisai reaktor, bahan bakar, batang kendali, fluida pendingin, dan pompa [3]. Gambar 1.1. menunjukkan skema dari reaktor nuklir.



**Figure 1.** Skema Reaktor Nuklir Keterangan: 1. bahan bakar 2. fluida pendingin primer 3. moderator 4. batang kendali 5. perisai reactor 6. penukar panas 7. pompa primer 8. pendingin sekunder

Bahan bakar untuk reaktor nuklir adalah uranium . Reaksi nuklir dari bahan bakar menghasilkan kalor yang sangat besar. Setiap satu reaksi fisi menghasilkan kalor sebesar 200 MeV, produk fisi yang bersifat radioaktif, dan neutron baru sebanyak 2 atau 3 buah [4]. Adanya kalor yang sangat besar ini maka di dalam reactor perlu pendingin, Adanya netron baru ini memungkinkan terjadinya reaksi berantai. Reaksi fisi dari uranium secara umum tertera seperti pada Persamaan 1 [5].

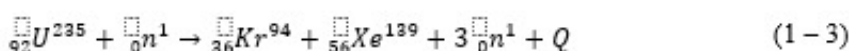
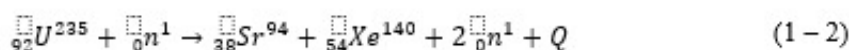


dengan:

- $n_{th}$  : adalah neutron dengan energy 0,025 eV,
- ${}_{92}^{235}\text{U}$  : adalah bahan bakar uranium,
- $X_1$  : adalah produk fisi 1 dan bersifat radioaktif,
- $X_2$  : adalah produk fisi 2 dan bersifat radioaktif,
- $n_f$  : adalah neutron dengan energy 2 MeV,
- $Q$  : adalah kalor 200 MeV.

**Figure 2.** Persamaan 1

Sebagai contoh dari reksi fisi nuklir sesuai Persamaan 1 adalah Persamaan 2 dan 3 sebagai berikut [3],





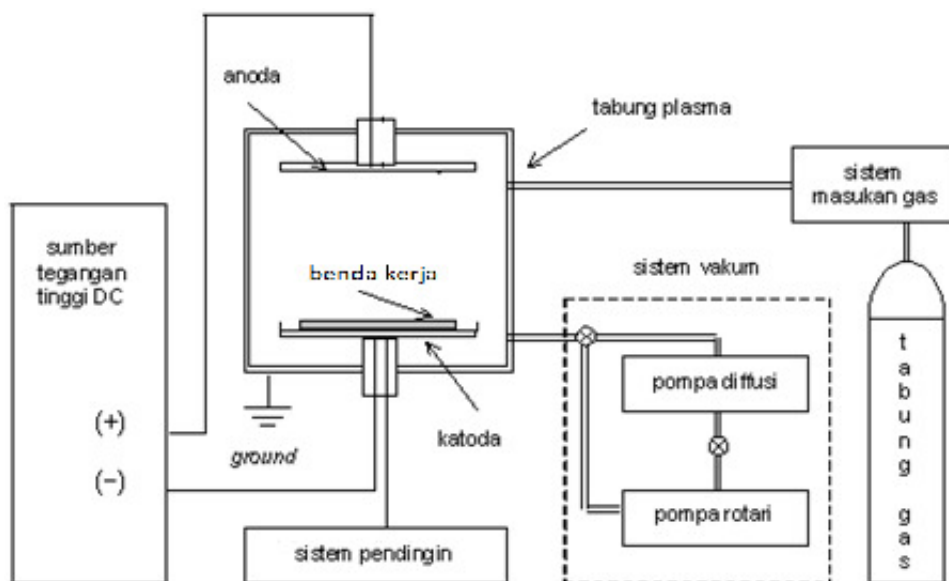
**Figure 3.** Persamaan 2 dan Persamaan 3

Dalam reaktor riset, uranium berada di dalam bahan struktur/kelongsong bahan bakar yang terbuat dari logam paduan AlMgSi [6]. Dalam pengoperasian reaktor riset, bahan bakar selalu berada di dalam air pendingin. Bahan struktur/kelongsong bahan bakar ini mesti memiliki sifat keras dan tahan terhadap korosi.

Dari Persamaan 2 dan 3 dapat diketahui bahwa aspek keselamatan dari operasi reaktor nuklir harus diperhatikan. Dalam penelitian ini dilakukan pengerasan permukaan AlMgSi dengan metode nitridasi plasma pada temperatur 448 kelvin, selanjutnya dilakukan uji korosi dan uji materi.

## Asas Kerja Reaktor Plasma

Nitridasi plasma dilakukan di dalam reaktor plasma [7]. Plasma adalah gas yang terionisasi. Komponen utama dari reaktor plasma seperti tertera pada Gambar 2 adalah tabung plasma yang di dalamnya terdapat dua elektroda yaitu anoda dan katoda, dilengkapi peralatan pendukung berupa sumber tegangan DC, sumber gas nitrogen, sistem vakum, dan sistem pendingin [6]. Sampel atau benda kerja yang dinitridasi diletakkan pada katoda [7].



**Figure 4.** Skema Reaktor Plasma [1]

Pengoperasian reaktor plasma dapat diuraikan sebagai berikut [6]:

1. tabung plasma diisi gas nitrogen,
2. pada elektroda dipasang tegangan listrik DC,
3. terjadi lucutan elektron dari katoda menuju anoda,
4. gas nitrogen di dalam tabung plasma akan mengalami ionisasi,
5. ion nitrogen yang terbentuk bergerak menuju katoda,
6. pada katoda dipasang sampel atau benda kerja,
7. Ion nitrogen berdifusi masuk ke dalam permukaan sampel.

## Pengujian Hasil Nitridasi

Hasil dari nitridasi ini berupa sampel AlMgSi yang telah dinitridasi plasma. Selanjutnya terhadap permukaan AlMgSi ini dilakukan uji korosi dan uji materi. Uji korosi dimaksudkan untuk mengetahui laju korosi sampel yang telah dinitridasi dibandingkan dengan material awal atau raw material. Uji materi dimaksudkan untuk melihat banyaknya atom nitrogen yang masuk atau terdeposisi ke permukaan AlMgSi. Permukaan sampel yang telah tersisip oleh atom-atom nitrogen akan lebih keras [7] dan lebih tahan terhadap korosi dibanding raw materialnya. Apabila sifat awal dari raw material adalah dan sifat akhir setelah sampel ditreatment adalah maka prosentasi perubahan sifat dapat dituliskan seperti pada Persamaan 4.

$$K = \frac{K_f - K_i}{K_i} \times 100 \% \quad (1 - 4)$$

Figure 5. Persamaan 4

Bila  $K$  bernilai positif, maka terjadi peningkatan, sedang bila  $K$  bernilai negative maka terjadi penurunan dari sifat semula.

## Metode Penelitian

Pembahasan dalam metode penelitian ini meliputi diagram alir penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, proses nitridasi plasma, dan diikuti uji hasil nitridasi, yang diuraikan seperti berikut.

### Diagram Alir Penelitian

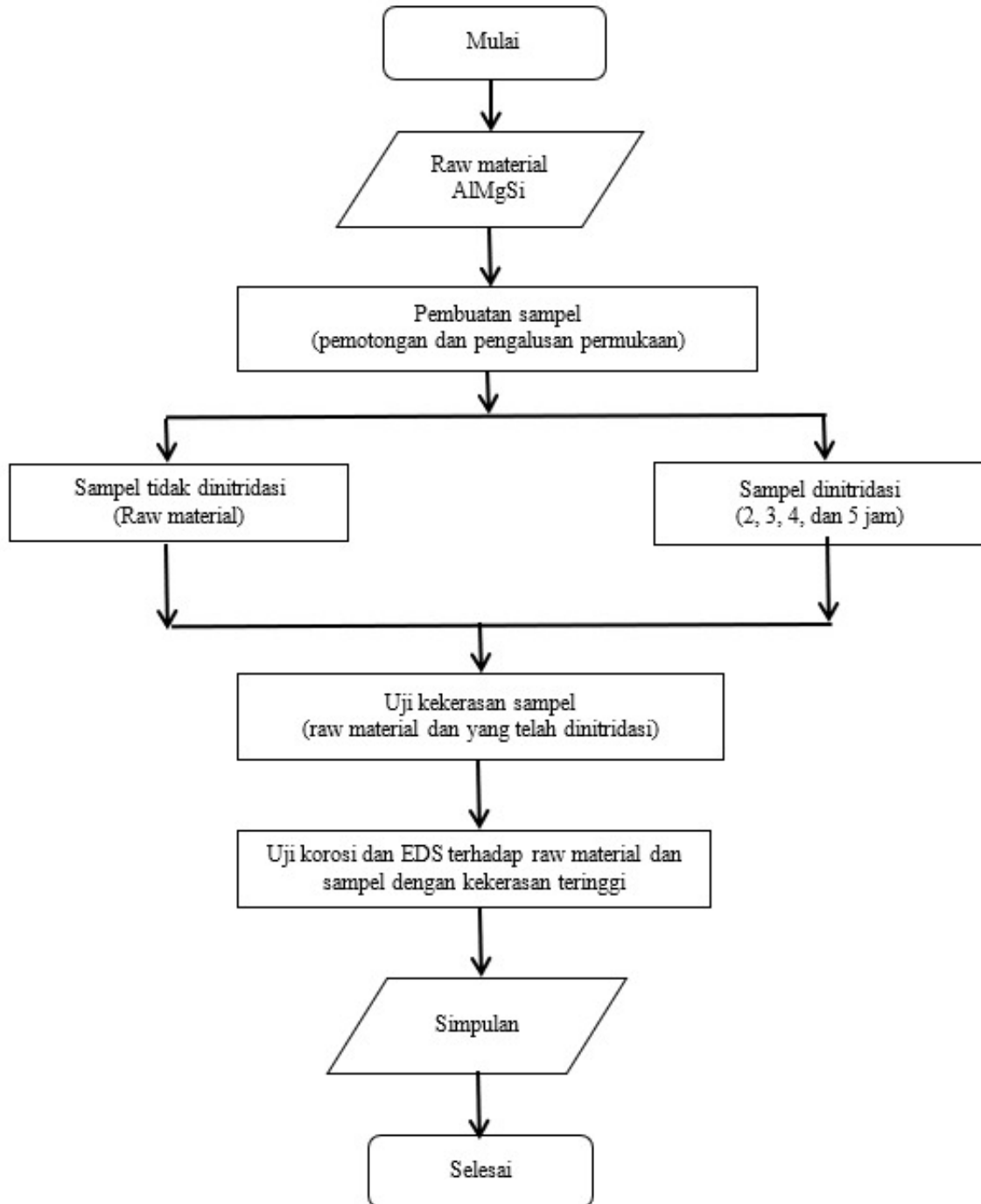


Figure 6. Diagram Alir Proses Nitridasi Plasma temperatur 448 K terhadap Permukaan AlMgSi.

Urutan penelitian ini adalah seperti tertera dalam diagram alir penelitian. Dari Gambar 6 dapat diketahui mula-mula material awal disiapkan, selanjutnya dibuat sampel atau benda kerja, terus dinitridasi, setelah dinitridasi dilakukan uji keras, terhadap sampel yang paling keras dilakukan uji korosi dan uji materi, dan diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

## Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan AlMgSi (seri 6061) ketebalan 5 mm [6]. Bahan dipotong dibuat sampel atau benda kerja berukuran seperti terlihat pada Gambar 7. Permukaan sampel dihaluskan permukaannya dan telah siap untuk dinitridasi.



**Figure 7.** Sampel atau benda kerja untuk dinitridasi

## Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah reaktor plasma, alat uji kekerasan Vickers, alat uji korosi, dan alat uji materi. Reaktor plasma digunakan untuk proses nitridasi sampel pada temperatur 448 kelvin, alat uji Vickers digunakan untuk menguji kekerasan permukaan sampel sebelum maupun sesudah nitridasi, alat uji korosi digunakan untuk mengukur laju korosi sampel yang memiliki kekerasan tertinggi, dan alat uji materi digunakan melihat adanya atom-atom nitrogen yang terdesposisi pada sampel yang memiliki kekerasan tertinggi.

## Proses Nitridasi Plasma

Sampel yang telah siap dilakukan nitridasi plasma diletakkan di dalam reaktor plasma di atas katoda [7]. Proses nitridasi dilaksanakan pada temperatur 448 kelvin dengan tekanan kerja 1,2 mbar. Lama nitridasi divariasikan meliputi 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam.

## Uji Kekerasan Permukaan

Permukaan sampel yang telah dinitridasi selanjutnya diuji kekerasan permukaannya dengan alat uji Vickers. Pengujian juga dilakukan terhadap permukaan raw material.

## Uji Korosi

Uji korosi dilakukan terhadap permukaan sampel yang memiliki kekerasan permukaan tertinggi dan juga permukaan dari raw material.

## Uji Materi

Uji materi dilakukan terhadap permukaan raw material dan sampel yang memiliki kekerasan permukaan tertinggi.

Dari seluruh kegiatan yang dilakukan seperti pembahasan di atas, akan diperoleh hasil berupa data penelitian seperti pada pembahasan berikut.

## Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian nitridasi plasma pada temperatur 448 kelvin terhadap permukaan AlMgSi tertera dalam Tabel 1 [6]. Pada tabel tersebut dimuat lama nitridasi, kekerasan permukaan sebelum dan sesudah dinitridasi plasma, dan laju korosi dari raw material dan sampel dengan kekerasan tertinggi.

No	Waktu (jam)	Kekerasan	Laju korosi	Keterangan
1	0	62,35 VHN	11,22 mpy	raw material
2	2	74,79 VHN	-	

3	3	92,79 VHN	3,51 mpy	maksimum
4	4	84,72 VHN	-	
5	5	76,06 VHN	-	

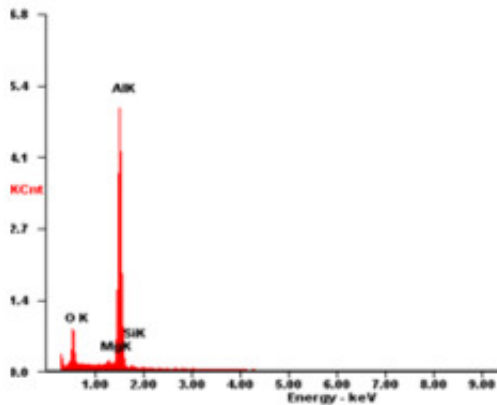
**Table 1.** Data tentang waktu nitridasi, kekerasan, dan laju korosi permukaan AlMgSi yang dinitridasi plasma pada temperatur 448 kelvin [6]

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kekerasan permukaan AlMgSi sebelum dinitridasi adalah 62,35 VHN. Ini adalah kekerasan permukaan raw material AlMgSi. Kekerasan permukaan AlMgSi yang dinitridasi selama 2 jam naik menjadi 74,79 VHN dan yang dinitridasi selama 3 jam naik lagi menjadi 92,79 VHN. Nilai 92,79 VHN ini adalah kekerasan tertinggi yang dicapai. Peningkatan kekerasan ini terjadi karena atom-atom nitrogen terdeposisi atau tersisip ke dalam permukaan AlMgSi sehingga kekerasannya meningkat. Selanjutnya permukaan AlMgSi yang dinitridasi selama 4 jam kekerasan menurun menjadi 84,72 VHN, dan yang dinitridasi selama 5 jam kekerasan menurun lagi menjadi 76,06 VHN. Penurunan ini terjadi karena penyisipan atom-atom nitrogen pada permukaan AlMgSi telah melampaui batas kejenuhan. Jadi nitridasi plasma temperatur 448 kelvin dapat menaikkan kekerasan permukaan AlMgSi dari 62,35 VHN menjadi 92,79 VHN atau menurut Persamaan 4 terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 49 %.

Selanjutnya terhadap permukaan raw material dan permukaan sampel yang memiliki kekerasan tertinggi dikenai dua perlakuan yaitu uji korosi dan uji materi.

Uji korosi dilakukan untuk mengetahui laju korosi. Dari Tabel 3.1 terlihat bahwa laju korosi dari raw material adalah 11,22 mpy sedang laju korosi untuk sampel dengan kekerasan tertinggi adalah 3,51 mpy, atau menurut Persamaan 4 terjadi penurunan laju korosi sebesar 69 %.

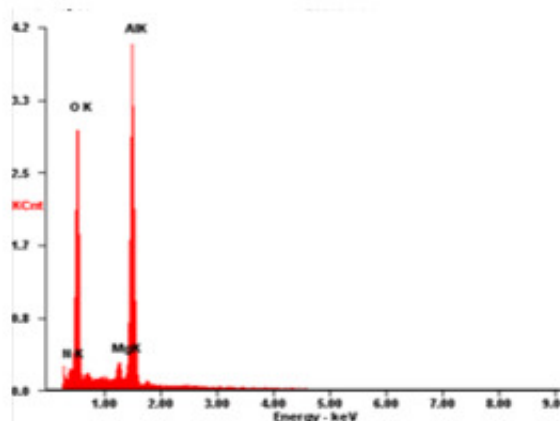
Uji materi dilakukan dengan metode spektroskopi dispersi electron (EDS). Uji materi dilakukan terhadap permukaan raw material dan sampel dengan kekerasan permukaan tertinggi. Hasil dari EDS ini terlihat pada Gambar 3.1 untuk raw material dan Gambar 3.2 untuk sampel yang telah dinitridasi [6].



Element	Wt%	At%
<u>O</u> K	06.93	11.15
<u>Mg</u> K	01.55	01.64
<u>Al</u> K	90.65	86.42
<u>Si</u> K	00.86	00.79
Matrix	Correction	ZAF

**Figure 8.** Hasil Uji Electron Dispersive Spectroscopy (EDS) terhadap raw material [6]

Dari Gambar 8 terlihat bahwa permukaan raw material AlMgSi tersusun atas aluminium sebesar 86,42 %, oksigen sebesar 11,15 %, magnesium sebesar 1,64 %, dan silikon sebesar 0,79 %. Dari Gambar 9 terlihat bahwa kandungan atom/unsur pada permukaan AlMgSi yang telah dinitridasi plasma temperatur 448 kelvin selama 3 jam adalah aluminium sebesar 55,46 % atom, oksigen sebesar 36,72 % atom, magnesium sebesar 2,69 % atom, dan nitrogen sebesar 5,13 % atom.



Element	Wt%	At%
NK	03.23	05.13
OK	26.45	36.72
MgK	02.94	02.69
AlK	67.37	55.46
Matrix	Correction	ZAF

Figure 9. Hasil Uji Electron Dispersive Spectroscopy (EDS) terhadap Sampel yang telah dinitridasi selama 3 jam [6]

Kemunculan atom nitrogen ini adalah hasil dari perlakuan nitridasi plasma dan menjadikan permukaan AlMgSi berubah sifat menjadi bertambah keras dan lebih tahan terhadap korosi. Tabel 3.2 menunjukkan perubahan sifat permukaan dari AlMgSi sebelum dan sesudah mendapat perlakuan nitridasi plasma pada temperatur 448 kelvin selama 3 jam.

Sifat permukaan AlMgSi	Nitridasi plasma 448 K selama 3 jam	
	Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan
Kekerasan	62,35 VHN	92,79 VHN
Laju Korosi	11,22 mpy	3,51 mpy
Kandungan Nitrogen	-	5,13 % atom

Table 2. Sifat Permukaan AlMgSi sebelum dan sesudah Nitridasi

Dapat disimpulkan bahwa nitridasi plasma temperatur 448 kelvin selama 3 jam menjadikan permukaan AlMgSi memiliki kandungan nitrogen sebesar 5,13 % atom, menaikkan kekerasan permukaan sebesar 49 %, menurunkan laju korosi sebesar 69 %.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nitridasi plasma pada suhu 448 kelvin selama 3 jam berhasil meningkatkan kekerasan permukaan AlMgSi sebesar 49% dari 62,35 VHN menjadi 92,79 VHN, dengan peningkatan kandungan nitrogen dari 0 menjadi 5,13% atom dan pengurangan laju korosi sebesar 69% dari 11,22 mpy menjadi 3,51 mpy. Hasil ini menunjukkan bahwa metode nitridasi plasma adalah cara yang efektif untuk meningkatkan ketahanan dan keamanan material AlMgSi sebagai bahan struktural dan elemen bakar reaktor riset. Implikasinya adalah bahwa penggunaan AlMgSi yang telah dinitridasi plasma dapat mengurangi risiko kegagalan struktural dan korosi dalam lingkungan reaktor nuklir. Penelitian lebih lanjut dapat menggali potensi optimalisasi parameter nitridasi plasma, termasuk suhu dan waktu perlakuan, serta memperluas uji ketahanan korosi dan karakterisasi sifat material lainnya untuk memastikan kesesuaian material ini dalam aplikasi di reaktor nuklir komersial. Selain itu, studi lebih lanjut juga dapat melibatkan pengujian performa AlMgSi yang dinitridasi plasma dalam skala yang lebih besar dan situasi reaktor yang lebih realistis guna menguatkan validitas dan keahliannya sebelum penerapan dalam pengoperasian reaktor nuklir yang sebenarnya.

## References

1. D. Priyantoto, B. Pribadi, S. Lutfi, and T. Sujitno, "Nitridasi Plasma Temperatur 423 K pada Permukaan AlMgSi sebagai Bahan Struktur Reaktor Riset," Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya), vol. 7, no. 0, pp. 10-18, Dec. 2022, doi: 10.20961/prosidingsnfa.v7i0.71949.
2. S. Sigit and E. Nuraini, "Characterization of AlMgSi as Research Reactor Structural Material," in Proc. Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III PEBN-BATAN Jakarta, pp. 50-55, Nov. 4-5, 1997.
3. D. Priyantoro, "Introduction to Nuclear Power Plant (PLTN)," Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, BATAN, 2012.
4. J. Weisman, "Elements of Nuclear Reactor Design," 2nd ed., Malabar, FL, USA: Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., 1983.

# Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 23 (2023): July

DOI: 10.21070/ijins.v24i.951 . Article type: (Innovation in Mechanical Engineering)

5. D. Priyantoro, "Introduction to Nuclear Reactor Physics," Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, BATAN, 2009.
6. S. Lutfi, "Plasma Nitriding of AlMgSi Surface as Research Reactor Fuel Element Structural Material," Undergraduate Thesis, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta, 2015.
7. D. Priyantoro, "Surface Hardening of Bearings using Plasma Nitriding Technique," in Proc. Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII Yogyakarta, Nov. 16, 2011.