

Nitridasi Plasma Temperatur 423 K pada Permukaan AlMgSi sebagai Bahan Struktur Reaktor Riset

Dwi Priyantoto¹, Bangun Pribadi¹, Shokhul Lutfi¹, Tjito Sujitno²

¹ Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia Yogyakarta

² Badan Riset dan Inovasi nasional Jakarta

Email: bangunpribadisttn@gmail.com

Abstract: Nuclear reactors can be divided into research reactors and power reactors. The reactor core containing uranium fuel is where the chain fission reaction takes place. One material that can be used as a fuel structure for research reactors is AlMgSi. One of the characteristics of this alloy is hard. Plasma nitriding method can be used for surface treatment of a metal. The plasma nitriding method at 423 K was used to increase the surface hardness of AlMgSi. Plasma nitriding was carried out with variations of time, namely 2 hours, 3 hours, 4 hours and 5 hours. The results showed that AlMgSi surface hardness after plasma nitridation for 3 hours, rose from 62.35 VHN to 87.65 VHN.

Keywords: plasma nitriding, AlMgSi, surface treatment.

Abstrak: Reaktor nuklir dapat dibedakan menjadi reactor riset dan reactor daya. Teras reactor, berisi bahan bakar uranium adalah tempat berlangsungnya reaksi fisi berantai. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai bahan struktur bahan bakar reactor riset adalah AlMgSi. Logam paduan ini salah satu karakteristiknya adalah keras. Metode nitridasi plasma dapat digunakan untuk perlakuan permukaan suatu logam. Dalam penelitian ini metode tersebut digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan AlMgSi. Nitridasi plasma dilakukan pada temperatur 423 kelvin dengan variasi waktu adalah 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa kekerasan permukaan AlMgSi setelah dinitridasi plasma selama 3 jam, naik dari 62,35 VHN menjadi 87,65 VHN.

Kata kunci: nitridasi plasma, AlMgSi, perlakuan permukaan.

1. PENDAHULUAN

Paduan logam AlMgSi (Sigit, 1997) digunakan sebagai bahan struktur reactor riset. Aspek keselamatan dalam pengoperasian reaktor nuklir sangat diutamakan. Dari sinilah karakteristik dari AlMgSi terus dicari atau diupayakan, termasuk penelitian yang dikerjakan ini. Berikut diuraikan tentang penelitian-penelitian sebelumnya dan landasan teori.

1.1. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan yang terkait dengan AlMgSi dan dimuat dalam prosiding atau jurnal ilmiah antara lain adalah sebagai berikut.

1. Masrukan (1997)

Pada tahun 1997 Masrukan telah melakukan penelitian dengan judul “Paduan AlMgSi1 Sebagai Material Cladding Bahan Bakar Reaktor Riset Alternatif” yang dimuat dalam Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III PEBN-BATAN Jakarta, tanggal 4-5 Nopember 1997, dengan ISSN 1410-1998. Dalam penelitian ini digunakan AlMgSi produksi dari PT Alkasa dan dari Argone National Laboratory. Paduan AlMgSi1 dipilih sebagai material cladding alternatif karena mempunyai kekerasan dan ketahanan korosi yang lebih baik. Mula-mula sampel dipanaskan pada suhu 400 °C selama 3 jam, kemudian dilakukan

pengujian komposisi kimia (kandungan boron), sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat neutronic. Data penelitian tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia (kadar boron) dan sifat mekanik, fisik, dan neutronic dari AlMgSi1 produksi PT Alkasa dan Argone National Laboratory (ANL).

AlMgSi1	Komposisi kimia (kandungan boron)	Sifat Mekanik: Kekuatan Tarik, luluh, perpanjangan	Sifat Fisik : titik lebur, panas jenis, dan koefisien muai panjang	Sifat Neutronic : Tampang lintang serapan makroskopik (Σ_a)
PT Alkasa	233 ppm	125,4 MPa, 95,2 MPa, 29 %	617,14-632,84 °C, 0,231 kal/g °C, dan $24,23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	4,197853 cm ⁻¹
ANL	0,85 ppm	131,43 MPa, 101 MPa, 29 %	637 - 652,9°C, 0,231 kal/g °C, dan $24,23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	1,844 cm ⁻¹

Spesifikasi paduan aluminium untuk material cladding bahan bakar adalah sebagai berikut:

- Kandungan unsur boron lebih kecil dari 1 ppm
- Sifat mekanik yang terdiri atas kekuatan tarik, kekuatan luluh dan perpanjangan berturut-turut adalah 124 MPa, 54 MPa, dan 25 %.
- Sifat fisik yang terdiri atas titik lebur, panas jenis, dan koefisien muai panjang berturut-turut adalah 632 – 650 °C, 0,23 kal/g °C, dan $0, 0,24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Sifat neutronic, tampang lintang serapan makroskopik (Σ_a) lebih kecil dari 2,21 cm⁻¹

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan boron pada AlMgSi1 produksi PT Alkasa melebihi dari standar yang diizinkan.

2. Sigit, dkk. (1997)

Pada tahun 1997 Sigit dan Elin Nuraini telah melakukan penelitian dengan judul “Karakterisasi AlMgSi sebagai Bahan Struktur Reaktor Riset” yang dimuat dalam Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III PEBN-BATAN Jakarta, tanggal 4-5 Nopember 1997, dengan ISSN 1410-1998. Pada penelitian ini disebutkan bahwa AlMgSi memiliki kekerasan awal 76,2 kg/mm² dan setelah dilakukan pemanasan pada suhu 300 °C selama 3 jam, 6 jam, dan 12 jam selanjutnya didinginkan dalam media air, udara, dan pasir, kekerasannya berubah menjadi seperti Tabel 2.

Tabel 2. Kekerasan AlMgSi setelah dipanaskan 300 °C dan didinginkan dalam media berbeda

Lama pemanasan	Kekerasan setelah didinginkan (kg/mm ²)		
	Media air	Media udara	Media Pasir
3 jam	34,4	34,0	33,7
6 jam	32,9	32,5	31,8
12 jam	34,4	33,1	31,1

3. Sumpena, dkk. (2018)

Pada tahun 2018 Sumpena dan Wardoyo telah melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Temperatur Hardening dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran terhadap Kekerasan’ yang dimuat dalam Jurnal ENGINE Vol. 2 No. 1, Mei 2018, pp no : 26-32; e-ISSN 2579-7433. Dalam penelitian ini, AlMgSi-Fe12% yang memiliki kekerasan awal 60,92 VHN dikenai treatment hardening (dipanaskan pada suhu 600 °C

selama 15 menit dan didinginkan cepat dalam minyak SAE 20) diikuti tempering (pemanasan kembali dan didinginkan secara perlahan) pada suhu 200 °C, 250 °C, dan 300 °C. Dengan tempering pada suhu 200 °C kekerasan naik menjadi 63,50 VHN, pada suhu 250 °C kekerasan turun menjadi 59,94 VHN, dan pada suhu 300 °C kekerasan naik menjadi 76,98 VHN.

4. *Ginting, A. Br., dkk. (2018)*

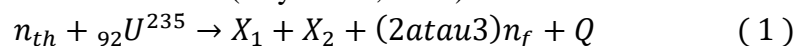
Pada tahun 2018 Aslina Br. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, Dian Anggraini, dan Boybul telah melakukan penelitian dengan judul “Karakterisasi Paduan AlMgSi untuk Kelongsong Bahan Bakar U3Si/Al dengan Densitas Uranium 5,2 gU/cm³” yang dimuat dalam Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir 24 (1), DOI:10.17146/Urania.2018.24.1.4016. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi paduan AlMgSi sebagai kandidat pengganti kelongsong AlMg₂. Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis termal, kekerasan, mikrostruktur, dan laju korosi.

Dari keempat uraian di atas maka penelitian ini dengan judul “Nitridasi Plasma Temperatur 423 K pada Permukaan AlMgSi sebagai Bahan Struktur Reaktor Riset” bertujuan untuk melengkapi karakterisasi dari logam paduan AlMgSi terkait dengan keselamatan reaktor nuklir.

Landasan Teori

Reaktor nuklir adalah tempat berlangsungnya reaksi pembelahan berantai yang terkendali. Reaktor nuklir dapat dibedakan menjadi reaktor daya (daya besar) yang digunakan untuk PLTN dan reaktor riset (daya rendah) yang digunakan untuk penelitian. Reaktor riset didesain untuk keperluan penelitian dan beroperasi pada temperatur rendah.

Komponen utama dari reaktor adalah teras reaktor yang di dalamnya antara lain terdapat bahan bakar uranium (${}_{92}\text{U}^{235}$). Di dalam bahan bakar terjadi reaksi nuklir berantai yang menghasilkan kalor sangat besar, yaitu 200 MeV per reaksi fisi. Reaksi fisi dari uranium 235 tertera seperti pada Persamaan 1 (Priyantoro, 2009).



dengan :

n_{th} : adalah neutron thermal,

${}_{92}\text{U}^{235}$: adalah bahan bakar uranium,

X_1 dan X_2 : adalah produk fisi (bersifat radioaktif),

n_f : adalah neutron cepat, dan

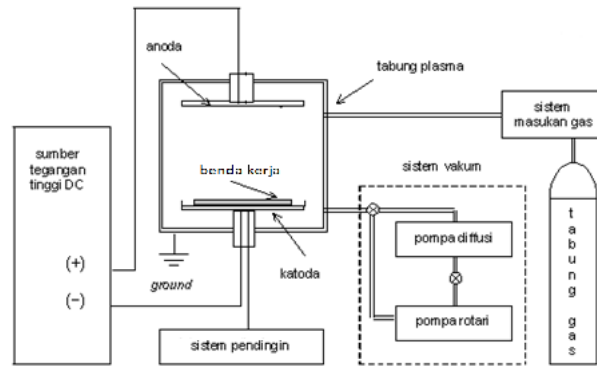
Q : adalah kalor hasil fisi (200 MeV).

Dari Persamaan 1 dapat diketahui bahwa aspek keselamatan dari operasi reaktor harus diperhatikan. Secara umum bahan bakar berada di dalam elemen bakar. Elemen bakar tersusun atas plat elemen bakar dan bahan struktur. Salah satu logam paduan yang memenuhi persyaratan sebagai bahan struktur elemen bakar reaktor riset (Sigit, 1997) adalah AlMgSi. Salah satu cara untuk menambah kekuatan logam (Arif, 2014) adalah dengan pengerasan permukaan. Pengerasan permukaan logam antara lain adalah dengan nitridasi plasma. Dalam penelitian ini digunakan metode nitridasi plasma untuk pengerasan permukaan AlMgSi sebagai bahan struktur elemen bakar reaktor riset.

5. *Asas kerja reaktor plasma (Lutfi, 2015)*

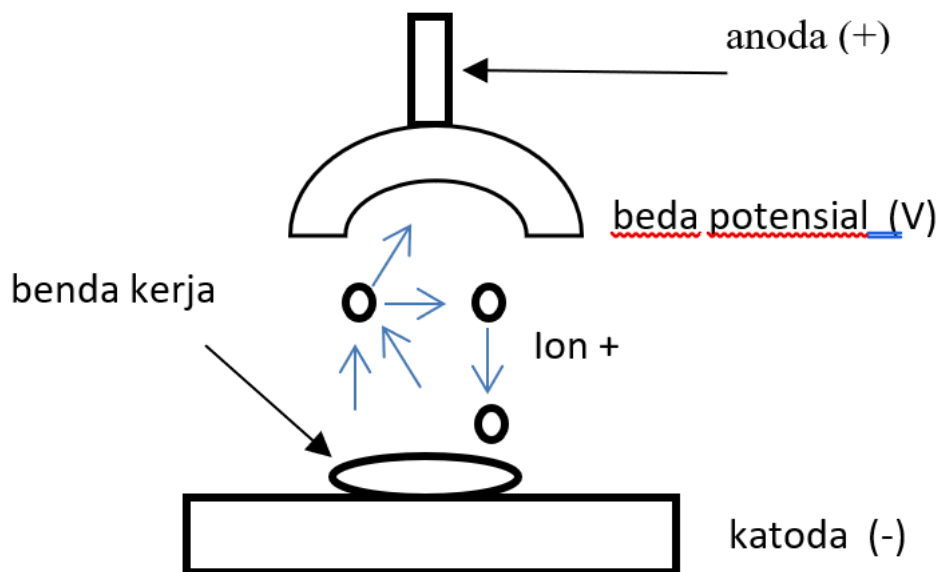
Nitridasi adalah proses perlakuan panas pada suhu tertentu (0,3 – 0,6 titik cair bahan) dalam lingkungan yang dapat menyerap nitrogen, kemudian dibiarkan beberapa lama pada suhu ini, sesudah itu didinginkan secara perlahan-lahan [4]. Dari definisi itu dapat dikatakan bahwa nitridasi merupakan pengerjaan panas (*Heat Treatment*). Nitridasi dapat dilakukan pada media padat, cair maupun gas. Nitridasi juga dapat dilakukan dalam media lain adalah

plasma. Plasma adalah gas yang terionisasi. Nitridasi yang terjadi dalam media plasma disebut *nitridasi plasma* dan berlangsung di dalam suatu tempat yang disebut reaktor plasma. Komponen utama dari reaktor plasma lihat Gambar 1., adalah tabung plasma yang dilengkapi peralatan pendukung berupa sumber tegangan DC, sumber gas nitrogen, sistem vakum, dan sistem pendingin. Di dalam tabung plasma terdapat dua elektroda yaitu katoda dan anoda yang mana benda kerja diletakkan pada katoda.



Gambar 1. Skema Reaktor Plasma (Lutfi, 2015)

Jika elektroda dalam tabung plasma diberi tegangan DC sebesar V maka akan terjadi lucutan electron dari katoda menuju anoda. Bila di dalam tabung plasma diisi gas nitrogen maka akan terjadi ionisasi dari atom-atom gas nitrogen. Ion positif dari nitrogen akan bergerak menuju katoda. Apabila pada katoda diletakkan benda kerja maka permukaan pada benda kerja akan tersisipi atom-atom nitrogen. Lihat Gambar 2.



Gambar 2. Penyisipan ion ke benda kerja (Lutfi, 2015)

Permukaan benda kerja yang telah tersisipi atom-atom nitrogen akan menjadi lebih keras dibanding raw materianya. Apabila kekerasan awal dari raw material adalah K_i dan kekerasan akhir setelah dinitridasi adalah K_f maka prosentasi kenaikan kekerasan (K) dapat dinyatakan seperti pada persamaan 2.

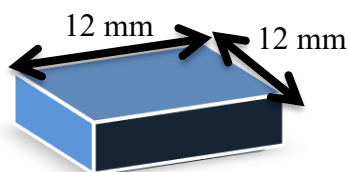
$$K = \frac{K_f - K_i}{K_i} \times 100 \% \quad (2)$$

2. METODE PENELITIAN

Hal-hal yang dibahas dalam pelaksanaan penelitian adalah terkait bahan penelitian, peralatan penelitian (reactor plasma dan alat uji kekerasan), proses nitridasi plasma diikuti uji kekerasan, dan dilengkapi dengan diagram alir penelitian.

2.1. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini (Lutfi, 2015) adalah aluminium paduan AlMgSi (seri 6061) ketebalan 5 mm. Bahan ini dipotong-potong dibuat benda kerja dengan ukuran 12 mm × 12 mm, lihat Gambar 3. Benda kerja dihaluskan permukaannya dengan kertas abrasif (ampelas) dengan ukuran 200, 500, 1000, 1500, dan 2000 mesh. Selanjutnya benda kerja dibersihkan permukaannya dengan alkohol 70 %. Selanjutnya benda kerja telah siap untuk dinitridasi.



Gambar 3. Benda kerja untuk dinitridasi (Lutfi, 2015)

2.2. Peralatan Penelitian (Lutfi, 2015)

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ada dua yaitu reactor plasma dan alat uji kekerasan Vickers. Reaktor plasma digunakan untuk menitridasi benda kerja, sedang alat uji kekerasan Vickers digunakan untuk menguji kekerasan permukaan benda kerja (AlMgSi) baik sebelum maupun sesudah dinitridasi.

2.3. Proses Nitridasi Plasma (Lutfi, 2015)

Proses ditridasi plasma meliputi tiga tahapan yaitu persiapan, pelaksanaan, dan pengambilan benda kerja dari reaktor plasma, yang dapat diuraikan seperti berikut.

a) Tahap persiapan

Tahap persiapan atau penempatan benda kerja ke dalam reaktor plasma terdiri atas tujuh langkah sebagai berikut,

- melepaskan kawat anoda dari tabung plasma,
- melepaskan baut pengunci diikuti membuka penutup tabung,
- memasukkan benda kerja ke dalam tabung plasma
- menutup tabung plasma, memasang baut pengunci, dan memasang kawat anoda,
- memastikan *Valve* vakum pada posisi *open* dan katup bocor pada posisi *close*.
- menghidupkan reaktor plasma dengan menekan tombol sakelar utama, sakelar instrumen, dan sakelar vakum,
- mengatur katup aliran gas pada posisi *close*, tunggu sampai tekanan vakum sekitar $2,3 \times 10^{-1}$ mbar.

b) Tahap pelaksanaan (Lutfi, 2015)

Tahap pelaksanaan nitridasi plasma terdiri atas enam langkah sebagai berikut,

- membuka katup tabung gas nitrogen,

- menghidupkan saklar catu daya,
- memutar pengatur gas sampai lima putaran,
- mengatur tegangan sampai plasma mulai menyala,
- mempertahankan tekanan sebesar 1,2 mbar dan mengatur tegangan hingga menghasilkan temperature 423 kelvin atau 150 °C.
- melakukan nitridasi plasma terhadap benda kerja dengan variasi waktu 2, 3, 4, dan 5 jam.

c) Tahap pengambilan benda kerja (Lutfi, 2015)

Tahapan ini terdiri atas delapan langkah sebagai berikut,

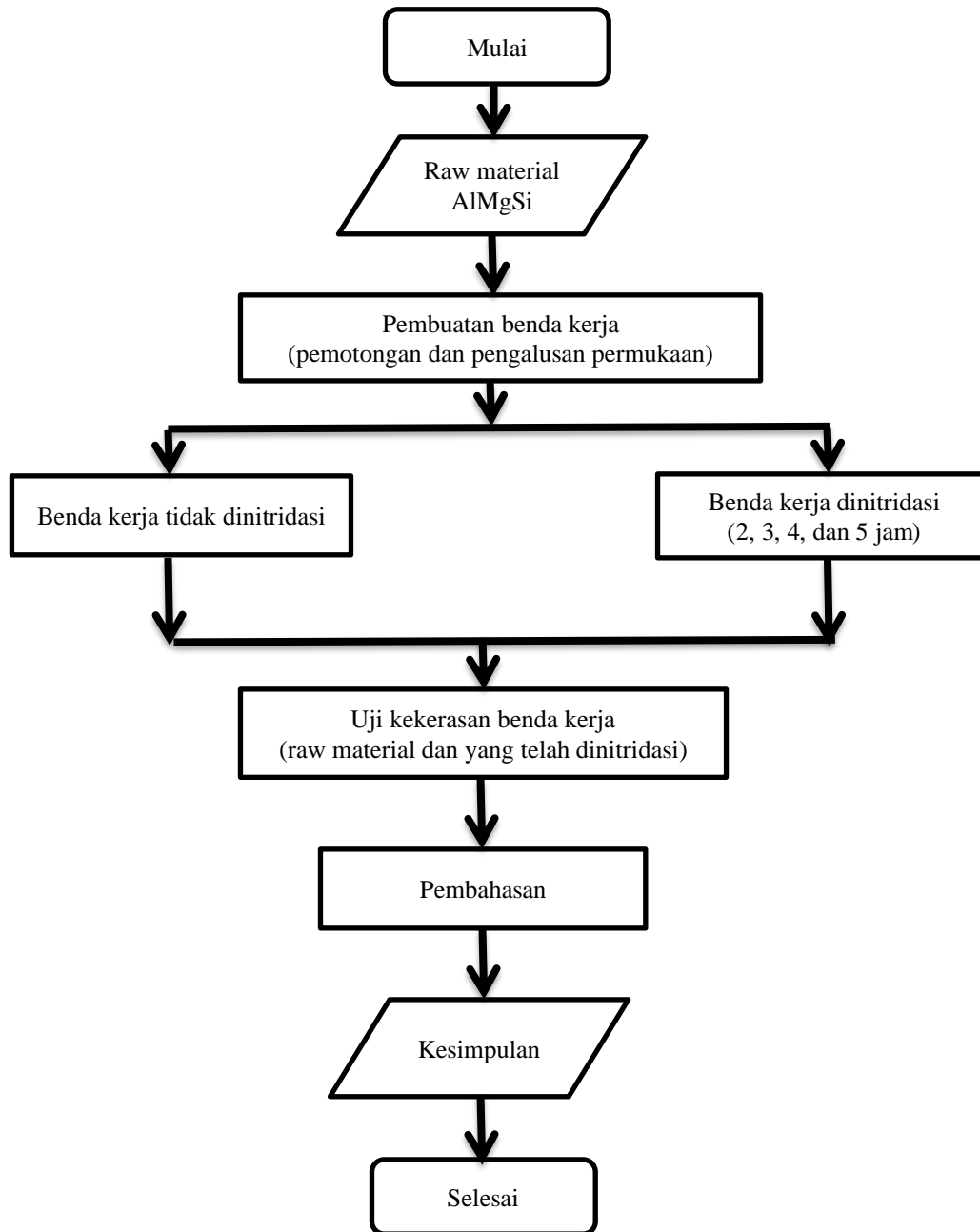
- menutup katup pengatur gas,
- menurunkan tegangan sampai nol dan mematikan catu daya,
- menutup katup tabung gas nitrogen,
- menunggu temperature tabung plasma sama dengan suhu ruangan,
- mematikan saklar vakum, saklar instrumen, dan saklar utama,
- melepaskan kawat anoda dari tabung plasma,
- membuka baut pengunci dan mengeluarkan benda kerja dari reactor plasma,
- memasang kembali penutup tabung plasma.

2.4. Uji Kekerasan Permukaan

Pengujian kekerasan permukaan benda kerja dilakukan dengan Alat Uji Vickers. Pengujian dilakukan terhadap raw material benda kerja, benda kerja yang telah dinitridasi selama 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam.

2.5. Diagram Alir Penelitian (Lutfi, 2015)

Dari uraian 2.1 hingga 2.4 dapat dibuat diagram alir penelitian nitridasi plasma pada permukaan logam paduan AlMgSi seperti tertera pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Proses Nitridasi Plasma

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian nitridasi plasma pada temperature 423 K terhadap permukaan AlMgSi (Lutfi, 2015) tertera pada Tabel 3. Dalam Tabel 3. dimuat kekerasan permukaan AlMgSi sebelum dinitridasi plasma dan sesudah dinitridasi plasma pada temperatur 423 kelvin atau 150 °C.

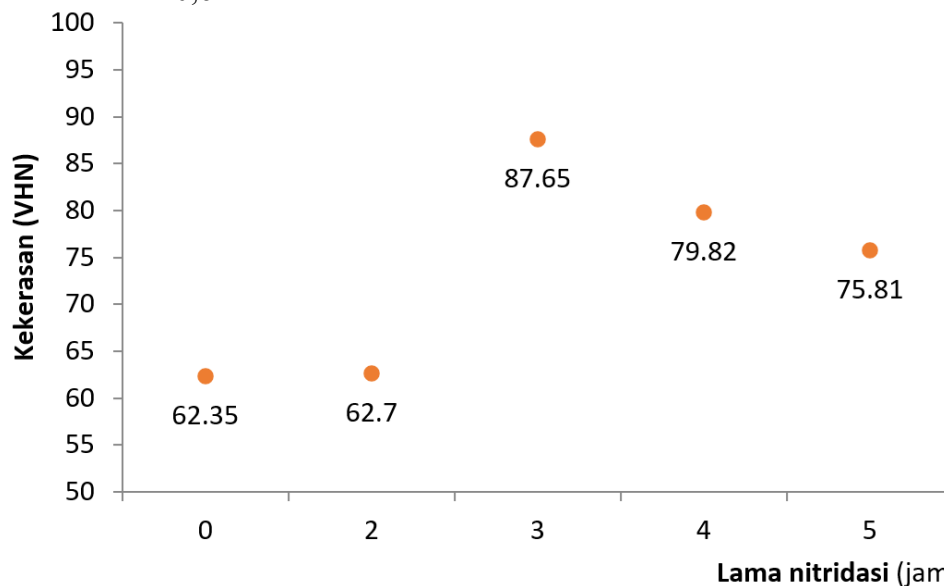
Tabel 3. Kekerasan Permukaan AlMgSi sebelum dan sesudah Nitridasi Plasma 423 K

No	Waktu (jam)	Kekerasan (VHN)	Keterangan
1	0	62,35	raw material
2	2	62,70	
3	3	87,65	maksimum
4	4	79,82	
5	5	75,81	

Data dari Tabel 3. dapat dilukiskan dalam grafik seperti tertera pada Gambar 5. yang mana sumbu tegak adalah kekerasan dalam satuan VHN (Vickers Hardness Number) dan sumbu datar adalah waktu atau lama nitridasi dalam satuan jam.

Dari Gambar 5. dapat diketahui bahwa kekerasan permukaan AlMgSi sebelum dilakukan nitridasi adalah 62,35 VHN. Ini adalah kekerasan raw material permukaan AlMgSi. Kekerasan permukaan AlMgSi yang dinitridasi selama 2 jam naik menjadi 62,70 VHN dan yang dinitridasi selama 3 jam naik lagi menjadi 87,65 VHN. Nilai 87,65 VHN ini adalah kekerasan tertinggi yang dicapai dalam penelitian ini. Peningkatan kekerasan ini terjadi karena atom-atom nitrogen tersisip pada permukaan AlMgSi.

Selanjutnya kekerasan permukaan AlMgSi yang dinitridasi selama 4 jam menurun atau lebih rendah dari nitridasi 3 jam yaitu menjadi 79,82 VHN dan yang dinitridasi selama 5 jam menurun lagi menjadi 75,81 VHN. Penurunan ini terjadi karena penyisipan atom-atom nitrogen pada permukaan AlMgSi telah melampaui titik jenuh. Jadi nitridasi plasma temperatur 423 K selama 3 jam dapat menaikkan kekerasan permukaan AlMgSi dari 62,35 VHN menjadi 87,65 VHN atau menurut Persamaan 2.2 terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 40,6 %.



Gambar 5. Kekerasan permukaan AlMgSi yang dinitridasi plasma 423 K

Catatan: Apabila keempat data hasil treatment dibuat kurva, sumbu tegak (*sumbu y*) adalah kekerasan dalam satuan VHN dan sumbu datar (*sumbu x*) adalah waktu nitridasi dalam satuan jam, didapatkan persamaan polinomial $y = 6.1x^3 - 71.29x^2 + 265.5x - 231.94$ dengan nilai $R^2 = 1$, maka nilai maksimum kekerasan adalah 87,75 VHN dengan waktu nitridasi adalah 3,08 jam.

4. KESIMPULAN

Nitridasi plasma temperature 423 K selama 3 jam dapat menaikkan kekerasan permukaan AlMgSi dari 62,35 VHN menjadi 87,65 VHN atau terjadi kenaikan kekerasan permukaan sebesar 40,6 %

5. SARAN

Perlu dilakukan uji korosi karena material ini yaitu AlMgSi digunakan sebagai bahan struktur bahan bakar reactor riset yang dalam bekerjanya berada di dalam air pendingin reactor.

REFERENSI

- Arif, Zuhdi, 2014, "Pengerasan Permukaan Mata Rantai Dengan Plasma Lucutan Pijar DC Dari Campuran Gas Helium Dan Metana", Tugas Akhir Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta.
- Aslina Br. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, Dian Anggraini, dan Boybul, 2018, "Karakterisasi Paduan AlMgSi untuk Kelongsong Bahan Bakar U3Si/Al dengan Densitas Uranium 5,2 gU/cm³", *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir* 24 (1), DOI:10.17146/Urania.2018.24.1.4016.
- Lutfi, Shokhul, 2015, "Nitridasi Plasma Permukaan AlMgSi sebagai Bahan Struktur Elemen Bakar Reaktor Riset", Tugas Akhir Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta.
- Masrukan, 1997, "Paduan AlMgSi1 Sebagai Material Cladding Bahan Bakar Reaktor Riset Alternatif" Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III PEBN-BATAN Jakarta, tanggal 4-5 Nopember 1997, dengan ISSN 1410-1998.
- Priyantoro, Dwi, 2009, "Pengantar Fisika Reaktor Nuklir", ISBN : 978-979-3984-33-9, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, BATAN, Yogyakarta.
- Sigit dan Elin Nuraini, 1997, "Karakterisasi AlMgSi sebagai Bahan Struktur Reaktor Riset", Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III PEBN-BATAN Jakarta, tanggal 4-5 Nopember 1997, dengan ISSN 1410-1998.
- Sumpena dan Wardoyo, 2018, "Pengaruh Variasi Temperatur Hardening dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran terhadap Kekerasan' *Jurnal ENGINE* Vol. 2 No. 1, Mei 2018, pp no : 26-32; e-ISSN 2579-7433.