

---

## KETAHANAN KOROSI BAHAN STRUKTUR AlMg-2 DALAM MEDIA AIR PASCA PERLAKUAN PANAS DAN PENDINGINAN

Maman Kartaman A., Djoko Kisworo, Dedi Hariyadi, Sigit  
Pusbangtek Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang – BATAN, Serpong

### ABSTRAK

**KETAHANAN KOROSI BAHAN STRUKTUR AlMg-2 DALAM MEDIA AIR PASCA PERLAKUAN PANAS DAN PENDINGINAN.** Telah diuji ketahanan korosi sampel AlMg-2 dalam air menggunakan *autoclave* yang bertujuan mempelajari dan mengetahui korelasi perlakuan panas terhadap ketahanan korosinya. Sampel AlMg-2 yang telah mengalami perlakuan panas pada temperatur 90, 200, 300 dan 500 °C dan pendinginan dalam media udara, pasir dan air diuji korosi dalam air dengan temperatur 150 °C selama 250 jam. Hasil uji menunjukkan bahwa sampel AlMg-2 mengalami korosi, meskipun korosi yang dihasilkan relatif kecil. Perlakuan panas dari temperatur 90 °C sampai dengan 500 °C untuk pendingin media pasir menghasilkan pertambahan berat cenderung naik, meskipun pada temperatur 300 °C pertambahan berat lebih kecil dibanding temperatur 200 °C dan 500 °C. Untuk media pendingin air pada temperatur 90 °C hingga 200 °C terjadi kenaikan pertambahan berat dari 0,1854 g/cm<sup>2</sup> menjadi 2,1204 g/cm<sup>2</sup>, namun setelah temperatur 200 °C terjadi penurunan pertambahan berat menjadi 1,8207 g/cm<sup>2</sup> dan 1,6779 g/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk media pendingin udara, pertambahan berat relatif tetap. Berdasarkan hasil uji tersebut maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas dan pendinginan pada bahan AlMg-2 tidak secara signifikan mempengaruhi ketahanan korosinya. Lapisan pasif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada permukaan bahan mampu melindungi bagian dalamnya dari korosi selanjutnya. Media air dengan interval pH 4 – 9 tidak menimbulkan kerusakan pada lapisan pasif yang dihasilkan.

**KATA KUNCI:** Uji korosi, Bahan struktur AlMg-2, Perlakuan panas, Pendinginan

### ABSTRACT

**CORROSION RESISTANCE OF STRUCTURAL MATERIAL AlMg-2 IN WATER FOLLOWING HEAT TREATMENT AND COOLING.** *Corrosion tests of structural material AlMg-2 in water were carried out using autoclave in order to study the effects of heat treatment on the corrosion resistance of the material. Prior to the tests, the samples were heat-treated at temperatures of 90, 200, 300 and 500 °C and cooled in air, sand and water. The corrosion tests were conducted in water at temperature of 150 °C for 250 hours. The results showed that AlMg-2 samples were corroded although the increase of mass gain was relatively small. Heat treatment from 90 to 500 °C in sand cooling media resulted in an increase of mass gain despite that at 300 °C the increase was less than those at 200 °C and 500 °C. For water cooling media in the temperature range of 90 to 200 °C, the mass gain increased from 0.1854 g/cm<sup>2</sup> to 2.1204 g/cm<sup>2</sup> although after 200 °C it decreased to 1.8207 g/cm<sup>2</sup> and 1.6779 g/cm<sup>2</sup> respectively. For air cooling media, the mass gain was relatively constant. Based on the experiment results, it can be concluded that heat treatment and cooling did not significantly influence the corrosion resistance of material AlMg-2. The passive film Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the surface was able to protect the inner surface from further corrosion. Water media with pH range from 4 – 9 did not cause damage to passive layer formed.*

**FREE TERMS:** Corrosion test, AlMg-2, Heat treatment, Cooling

## I. PENDAHULUAN

Paduan aluminium AlMg-2 digunakan sebagai bahan struktur/kelongsong reaktor riset guna mengungkung bahan bakar dan hasil fisi yang timbul pada saat digunakan di reaktor<sup>[1]</sup>. Bahan bakar Reaktor Serba Guna (RSG-GAS) menggunakan bahan bakar tipe oksida ( $U_3O_8$ -Al) dan silisida ( $U_3Si_2$ -Al), dimana sejak September 2002, RSG-GAS telah mengganti bahan bakar  $U_3O_8$ -Al dengan bahan bakar silisida yaitu  $U_3Si_2$ -Al<sup>[2]</sup>. Bahan bakar uranium baik logam maupun oksida mempunyai sifat korosif pada temperatur tinggi. Oleh karenanya bahan bakar uranium perlu dikungkung dengan bahan kelongsong yang sesuai.

Ketahanan korosi paduan logam tergantung dari beberapa faktor, antara lain elemen paduan, ukuran butir dan orientasinya, perlakuan panas, homogenitas dan pengerjaan dingin<sup>[3]</sup>. Aluminium dan paduannya merupakan logam yang tahan korosi pada temperatur rendah, akan tetapi ketahanan korosinya akan turun pada temperatur tinggi. Pada temperatur tinggi aluminium dan paduannya mudah bereaksi antara lain dengan oksigen dan hidrogen. Secara termodinamika logam Al adalah logam yang sangat reaktif atau mudah terkorosi, namun produk korosi yang berupa lapisan pasif oksida aluminium mampu melindungi bagian dalam dari korosi selanjutnya, sehingga korosi akan berhenti hanya dalam beberapa hari<sup>[4]</sup>. Lapisan pasif ini sangat protektif dan hal ini yang menyebabkan logam aluminium memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Pada kondisi tertentu antara lain pada pH rendah atau tinggi, temperatur tinggi, kadar oksigen terlarut tinggi dan ion  $Cl^-$ , lapisan pasif akan rusak atau larut dan menyebabkan korosi yang cukup berat<sup>[4]</sup>.

Dalam rangka pengembangan teknologi produksi elemen bakar reaktor riset tipe MTR (*Material Testing Reactor*), maka perlu dilakukan karakterisasi mekanik dan korosi terhadap bahan struktur yang digunakan di RSG-GAS yaitu AlMg-2. Bahan paduan aluminium ini dipilih karena sifatnya memiliki tampang serapan neutron rendah, ketahanan korosi yang baik pada media air dengan pH berkisar 4,5 – 8,5, kekuatan tarik yang memadai sebagai bahan struktur, mudah dibentuk dan memiliki konduktivitas panas yang baik<sup>[1,5]</sup>. Di dalam reaktor bahan ini mengalami radiasi pada fluks tinggi, kemungkinan korosi dalam air, dan perubahan temperatur sehingga dapat mempengaruhi unjuk kerja bahan tersebut<sup>[5]</sup>. Pada penelitian terdahulu sudah dilakukan karakterisasi mekanik terhadap bahan struktur yang mengalami perlakuan panas dari 90 – 500 °C dan pendinginan dengan media udara, pasir dan air. Hasilnya menunjukkan bahwa pemanasan dari temperatur kamar hingga 300 °C menyebabkan penurunan sifat mekanik yaitu kekuatan tarik hingga 27%<sup>[6]</sup>. Untuk itu dalam penelitian ini akan dipelajari karakteristik lain dari bahan kelongsong AlMg-2 yang digunakan di dalam reaktor yaitu ketahanan korosinya setelah mengalami perlakuan panas dan pendinginan pada media air dengan variasi temperatur dan waktu. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hubungan antara perlakuan panas dengan ketahanan korosi. Perlakuan panas dilakukan dalam tungku pada temperatur tertentu dan waktu tertentu pula, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan dalam beberapa media yakni air, pasir dan udara. Setelah itu sampel AlMg-2 diuji korosi di *autoclave* pada temperatur 150 °C selama 250 jam. Dihipotesakan bahwa perlakuan seperti diatas dapat mempengaruhi ketahanan korosi AlMg-2 sebagai bahan kelongsong. Perlakuan panas dan pendinginan mengakibatkan salah satunya adalah tegangan sisa. Lokalisasi tegangan sisa memicu reaktivitas korosi yang selanjutnya menurunkan ketahanan korosi. Jadi jika temperatur naik maka ketahanan korosi akan turun.

---

## II. TATA KERJA

### 2.1. Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah AlMg-2 yang diperoleh dari PT. BATAN Teknologi berupa sisa-sisa pembuatan kelongsong elemen bakar nuklir reaktor riset, dengan komposisi kimia 0,13% Si, 2,07% Mg, 0,01% Cr dan 0,005% Ti. Bahan lain adalah air demin sebagai media korosi dan alkohol/aseton untuk pencucian sampel dengan alat ultrasonik.

### 2.2. Alat

Alat yang digunakan adalah tungku pemanas Nabertherm, alat potong logam, bor listrik, alat ukur dimensi dan timbangan analitik. Untuk uji korosi digunakan *autoclave*.

### 2.2. Cara kerja

Bahan AlMg-2 setelah mengalami perlakuan panas dan pendinginan dipotong dengan ukuran  $1,5 \times 1 \times 0,3$  cm, dan sekitar  $\frac{1}{3}$  dari atas dibuat lubang sebesar 2 mm. Masing-masing sampel kemudian diukur seluruh luas permukaan dan ditimbang untuk mendapatkan berat awal. Sampel tersebut lalu diuji korosi dalam media air pada temperatur 150 °C selama 250 jam dengan menggunakan alat *autoclave*. Sampel yang telah diuji kemudian dicuci dengan alat ultrasonik, dikeringkan dan ditimbang untuk mendapatkan berat akhir. Selanjutnya dilakukan perhitungan pertambahan berat sesudah dan sebelum diuji.

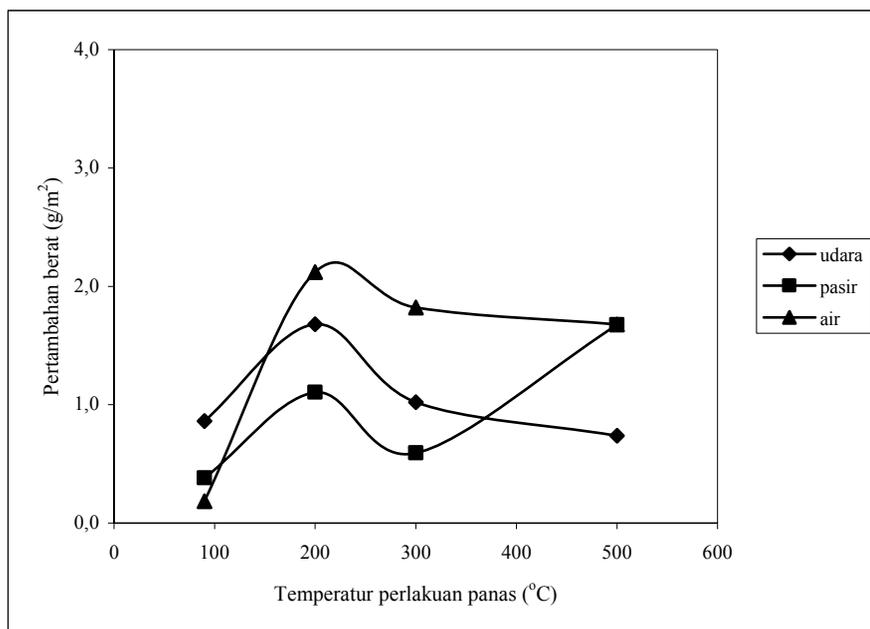
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian korosi di *autoclave* dilakukan untuk mengetahui korelasi perlakuan panas bahan AlMg-2 terhadap ketahanan korosinya. Sebelum diuji di *autoclave*, sampel AlMg-2 terlebih dahulu dipanaskan pada berbagai temperatur yaitu 90, 200, 300 dan 500 °C. Sedangkan pendinginannya dilakukan pada media pendingin udara, pasir dan air. Media pendingin yang berbeda ini bertujuan untuk memberikan kecepatan pendinginan yang berbeda. Hasil pengujian korosi dengan alat *autoclave* pada temperatur 150 °C dengan waktu pengujian 250 jam ditunjukkan pada Tabel 1.

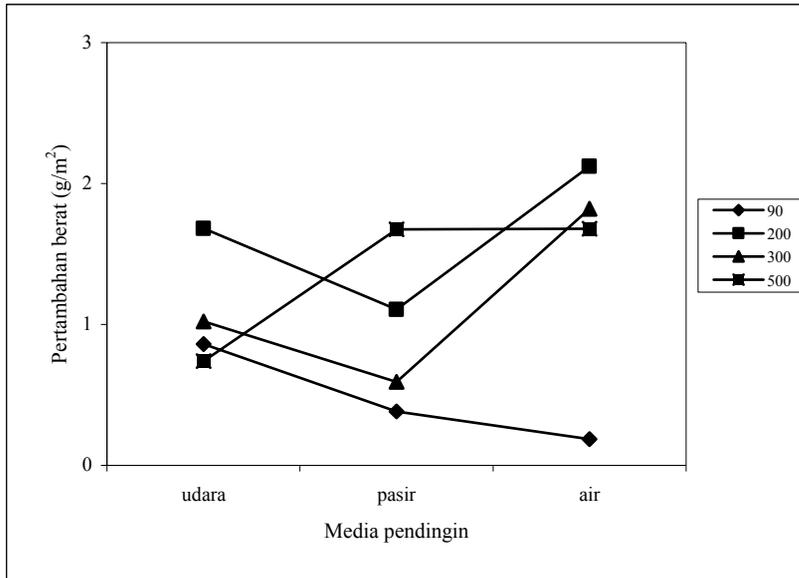
Dari Tabel 1 terlihat bahwa telah terjadi korosi dari bahan struktur AlMg-2 akibat reaksi kimia dengan lingkungan, dalam hal ini air demin membentuk produk korosi  $Al_2O_3$  atau  $Al(OH)_3$ . Akan tetapi pertambahan berat yang dihasilkan baik untuk media *quenching* udara, pasir dan air belum menunjukkan perubahan yang signifikan. Pada Gambar 1 ditunjukkan hubungan atau pengaruh perlakuan panas dari 90 °C sampai 500 °C terhadap pertambahan berat bahan struktur AlMg-2. Adapun pengaruh kecepatan pendinginan terhadap pertambahan berat diperlihatkan pada Gambar 2. Pada Gambar 1, pertambahan berat untuk media pendingin pasir dan air memiliki kecenderungan meningkat meskipun peningkatannya relatif kecil. Sedangkan untuk media pendingin udara, pertambahan berat relatif tetap atau sedikit menurun dengan semakin tingginya temperatur perlakuan panas.

Tabel 1. Data hasil uji korosi pada temperatur 150 °C

Kode sampel	Perlakuan panas dan pendinginan		Pertambahan berat ( $\text{g/m}^2$ )
	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Media pendingin	
1A	90	Udara	0,8610
2A	200		1,6800
3A	300		1,020
4A	500		0,738
1B	90	Pasir	0,3811
2B	200		1,1051
3B	300		0,5922
4B	500		1,6747
1C	90	Air	0,1854
2C	200		2,1204
3C	300		1,8207
4C	500		1,6779



Gambar 1. Grafik pertambahan berat bahan AlMg-2 pada berbagai temperatur perlakuan panas



Gambar 2. Grafik pertambahan berat bahan AlMg-2 pada berbagai media pendingin

Perlakuan panas pada paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi *solution heat treatment*, *annealing* dan *precipitation hardening*. Proses *precipitation hardening* ini hanya untuk paduan aluminium yang dapat dikeraskan dengan perlakuan panas seperti paduan seri 2xxx, 6xxx dan 7xxx<sup>[7]</sup>. Sedangkan paduan AlMg-2 merupakan paduan yang tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Penguatan dan peningkatan kekerasannya diperoleh melalui pembentukan larutan padat substitusional dengan menggantikan kedudukan atom Al oleh atom Mg yang mengakibatkan distorsi kisi kristal logam induk, yang selanjutnya menimbulkan medan tegangan di sekitar atom yang tersubstitusi. Peningkatan kekerasannya juga dapat dilakukan dengan pengerasan regang. Oleh karena itu paduan AlMg-2 yang dipanaskan dari 90 °C sampai 500 °C adalah proses pelunakan atau pembentukan larutan padat. Pemanasan dari 90 °C sampai 300 °C dan pendinginan lambat dengan media udara atau pasir yang terjadi adalah mekanisme pelunakan *recovery* dimana pada mekanisme tersebut tidak terjadi perubahan sifat mekanik baik kekerasan maupun kekuatan tariknya. Pada proses *recovery* ini, bahan dapat mengalami perubahan sifat fisik dengan terjadinya penambahan konduktivitas listrik, menurunnya energi dalam, hilangnya tegangan dalam dan sedikit pengurangan kerapatan dislokasi. Pada temperatur 500 °C dan pendinginan lambat, mekanisme pelunakan yang terjadi adalah pelunakan rekristalisasi. Pada proses terjadi pembentukan butir-butir baru yang ekuiaksial. Akibatnya bahan mengalami perubahan sifat mekanik dengan penurunan kekerasan dan kekuatan, dan peningkatan keuletan. Proses pelunakan baik mekanisme *recovery* maupun rekristalisasi dapat terjadi apabila bahan sebelumnya mengalami peranan dingin. Mengingat bahan yang diuji korosi adalah bahan hasil pengerolan, jadi berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pemanasan dari temperatur 90 – 500 °C dengan pendinginan lambat tidak menyebabkan perubahan mikrostruktur seperti perubahan

besar butir dan relatif tidak begitu berpengaruh terhadap sifat mekanik, sehingga ketahanan korosinya pun relatif baik. Lapisan pasif yang terbentuk di permukaan logam dapat melindungi bagian dalam logam dari korosi selanjutnya. Pada temperatur pemanasan 500 °C dan pendinginan cepat dalam media air memberikan nilai pertambahan berat sekitar 1,6779 g/m<sup>2</sup>. Sedikit peningkatan pertambahan berat ini masih relatif dianggap sama dengan yang lainnya, karena pada pemanasan temperatur 500 °C dan pendinginan dalam air, bahan tersebut juga mengalami pelunakan akibat mekanisme larutan padat. Jadi energi dalam yang dihasilkan tidak cukup menurunkan ketahanan korosi bahan struktur AlMg-2. Gambar 2 menunjukkan perubahan kecepatan pendinginan terhadap pertambahan berat. Seperti halnya temperatur perlakuan panas, kecepatan pendinginan yang berbeda pada bahan struktur AlMg-2 juga tidak mempengaruhi ketahanan korosi secara signifikan. Perubahan kecepatan pendinginan ini dapat mempengaruhi ketahanan korosi biasanya pada paduan aluminium *heat treatable* sedangkan pada paduan *non-heat treatable* pengaruhnya relatif kecil terhadap pertambahan berat bahan.

Meskipun secara termodinamika Al adalah logam yang sangat reaktif namun kalau bahan tersebut berada dalam lingkungan yang mengandung oksigen, logam Al akan bereaksi membentuk oksida yang tipis di seluruh permukaannya<sup>[4]</sup>. Lapisan tipis yang pasif ini mengendalikan laju korosi dan melindungi logam dibawahnya dari korosi selanjutnya. Atau dengan kata lain korosi akan terhenti dalam beberapa hari. Logam Al sangat tahan terhadap lingkungan air murni (distilat/demin) dan berdasarkan diagram Pourbaix, logam Al dan paduannya dalam lingkungan air akan membentuk lapisan pasif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang stabil pada interval pH 4 – 9<sup>[4]</sup>. Pada pH rendah dan tinggi, laju korosi Al meningkat karena lapisan pasif rusak atau larut. Ketahanan korosi paduan Al sangat bervariasi antara lain tergantung dari komposisi kimianya. Hampir semua elemen paduan menurunkan ketahanan korosi dan meningkatkan sifat mekaniknya melalui proses larutan padat atau pengerasan presipitat. Proses perlakuan panas paduan Al dapat mempengaruhi ketahanan korosi khususnya pada paduan Al yang *heat treatable* sedangkan pada paduan yang *non-heat treatable* pengaruhnya relatif kecil.

Umumnya hampir semua paduan aluminium termasuk paduan AlMg-2 merupakan paduan yang tahan korosi pada berbagai kondisi lingkungan seperti lingkungan udara, air, air laut dan beberapa bahan kimia. Paduan AlMg-2 mempunyai kadar Mg kurang dari 3%. Berdasarkan diagram fasa biner Al-Mg, paduan AlMg-2 ini pada temperatur kamar memiliki fasa- $\alpha$  aluminium. Sedangkan fasa kedua yakni fasa- $\beta$  tidak terbentuk pada paduan Al dengan kadar Mg kurang dari 3%. Paduan Al-Mg dengan kadar Mg >3% akan menghasilkan fasa kedua atau presipitat yang mengendap pada batas butir<sup>[4]</sup>. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Yuan dan Davenport, pada paduan seri 5754 (Al-4,0%Mg-0,5%Cu) yang mengalami sensitisasi akibat perlakuan panas akan mengalami korosi retak tegang akibat terbentuknya fasa kedua di batas butir<sup>[8]</sup>. Fasa kedua ini dapat menyebabkan korosi batas butir karena bersifat lebih anodik dibanding matriknya.

#### IV. KESIMPULAN

1. Pertambahan berat bahan struktur AlMg-2 dengan perlakuan panas dari 90 – 500 °C cenderung naik untuk media pendingin pasir dan air sedangkan untuk media pendingin udara relatif turun atau tetap. Namun secara keseluruhan kenaikan temperatur perlakuan panas menghasilkan pertambahan berat yang relatif tetap baik untuk media pendingin udara, pasir dan air, karena perubahan pertambahan beratnya relatif kecil atau tidak signifikan.

2. Kecepatan pendinginan yang berbeda menghasilkan perubahan pertambahan berat relatif kecil. Dari temperatur perlakuan panas 200 – 500 °C pertambahan berat cenderung naik dengan naiknya kecepatan pendinginan. Sedangkan pada temperatur 90 °C, pertambahan berat relatif turun atau tetap dengan naiknya kecepatan pendinginan.
3. Perlakuan panas dan pendinginan tidak mempengaruhi ketahanan korosi untuk paduan Al yang *non-heat treatable* seperti pada bahan struktur AlMg-2 yang termasuk kelompok paduan Al *non-heat treatable*.

## V. DAFTAR PUSTAKA

1. MONDOLFO, L.F., “Aluminium Alloy Structure and Properties”, Butterworth, London, 1976.
2. ASMEDI S., “Pengembangan Elemen Bakar Dispersi Uranium Silisida di BATAN”, Jumpa pers dengan PEBN, 1995.
3. HATCH, J.E., “American Society for Metals, Aluminium Properties and Physical Metallurgy”, Metal Park, Ohio, 1990, pp.279-300.
4. Jones, D.A., “Principles and Prevention of Corrosion”, MacMillan Publishing Company, 1992, pp.51-58 and pp.520-522.
5. HOOLINGSWORTH, E.H., “Corrosion Resistance of Aluminium and Aluminium Alloys“, Aluminium Company of America.
6. SIGIT, MUCHLIS B., dan ELIN N., “Efek Perlakuan Panas dan Pendinginan terhadap Karakteristik Mekanik Bahan Kelongsong Elemen Bakar RSG-GAS”, Prosiding PIDBBN, PEBN-BATAN, Jakarta, 1996.
7. MANGONON, P.L., “The Principles of Materials Selection for Engineering Design”, Prentice-Hall International, pp.540-556.
8. YUAN, Y., and DAVENPORT, A.J., “Crystallographic Effects in Intergranular Corrosion of an Al-Mg Alloy”, The University of Birmingham School of Metallurgy and Materials, Edgbaston, Birmingham, UK.