
KARAKTERISASI PADUAN AlFeNiMg HASIL PELEBURAN DENGAN ARC FURNACE TERHADAP KEKERASAN

Martoyo, Ahmad Paid, M.Suryadiman
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

KARAKTERISASI PADUAN AlFeNiMg HASIL PELEBURAN DENGAN ARC FURNACE TERHADAP KEKERASAN. Telah dilakukan karakteristik pembuatan sintesis logam paduan AlFeNiMg untuk pengembangan bahan struktur bahan bakar nuklir. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh Mg terhadap kekerasan logam paduan AlFeNiMg. Metode yang dipakai adalah dengan mencampur serbuk Al, Fe, Ni, Mg kemudian dilakukan pengepressan dan selanjutnya dilakukan peleburan menggunakan tungku busur listrik/*arc furnace*, paduan logam aluminium dengan komposisi pepadu 1%Fe, 1%Ni dan variasi Mg 0.5%, 1% dan 1,5%. Selanjutnya dilakukan proses *heat treatment* dengan memanaskan sampel pada suhu 500 °C, selama 1 jam dan didinginkan secara cepat (*quenching*) menggunakan media air pada suhu 25,3 °C, selanjutnya hasil *quenching* dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekerasan logam paduan AlFeNiMg menggunakan metode *vickers*. Dari hasil percobaan tersebut didapatkan harga kekerasan untuk masing-masing variasi Mg 0,5% HV=(41,20±1,09) Mg1% HV=(42,30±0,96) dan Mg1,5% didapatkan harga kekerasan HV=(44,40±1,45) terdapat kenaikan nilai kekerasan akibat kenaikan kandungan Mg dan dari mikrostruktur memperlihatkan struktur butir paduan AlFeNi hasil perlakuan panas pada suhu 500°C cenderung berbentuk granular dengan struktur fasa terdiri dari fasa α dan θ .

Kata Kunci : Logam paduan, pembuatan spesimen, uji kekerasan

PENDAHULUAN

Pemanfaatan paduan logam aluminium pada fasilitas nuklir umumnya digunakan untuk pembuatan komponen struktur bahan bakar nuklir dan teras reaktor nuklir^[1]. Penggunaan aluminium dan paduannya telah dipakai sebagai bahan struktur/kelongsong pada *Material Testing Reactor* dengan elemen bakar tipe pelat karena mempunyai sifat dan memenuhi persyaratan yaitu tampang serapan neutron rendah (0,23 barn), konduktivitas panas tinggi (0,5035 kal/cm/dt°C), daya tahan korosi dalam air maupun udara baik, mudah dipabrikasi, murah dan mudah didapat^[2]. Untuk meningkatkan sifat kekuatan/ketangguhan bahan dan ketahanan korosi, maka dipilih bahan pepadu yang sesuai dengan kebutuhan. Sifat ketangguhan dan ketahanan korosi bahan struktur paduan aluminium sangat dipengaruhi oleh jenis unsur pepadu dan kadar pepadu dalam paduan. Fasa dan mikrostruktur berperan pula terhadap perubahan sifat bahan terutama sifat termal dan sifat mekanik^[1]. Pembentukan fasa dalam paduan logam dapat terbentuk apabila komposisinya terdiri dari dua unsur atau lebih dan memiliki perbedaan jari-jari atom, sehingga membentuk larutan padat sebagai salah satu fasa. Selain itu, fasa yang terbentuk memiliki sifat, ukuran kisi dan

struktur kristal serta titik cair yang berbeda. Unsur Al, Fe, Ni dan Mg mempunyai ukuran atom, jarak antar atom dan juga bentuk struktur kristal yang berbeda^[1]. Unsur magnesium merupakan unsur paduan utama paduan Al seri 5000, adanya Mg dapat memperbaiki sifat kekerasan dan ketahanan korosi dan secara nyata akan meningkatkan kekuatan Al tanpa mengurangi keuletannya^[2].

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan paduan logam AlFeNiMg dalam rangka pengembangan bahan struktur bahan bakar nuklir terutama digunakan untuk bahan *cladding* bahan bakar reaktor riset. Pembuatan sintesis logam paduan aluminium AlFeNiMg dilakukan dengan teknik metalurgi serbuk dan peleburan menggunakan tungku busur listrik/*arc furnace* dalam kondisi *inert gase*. Serbuk logam Al dan serbuk bahan pepadu yaitu 1% Fe, 1% Ni, dan variasi kandungan Mg masing-masing 0,5%, 1% dan 1,5% dari berat total paduan AlFeNiMg 10 gram. Dari hasil peleburan selanjutnya dilakukan proses *heat treatment* diharapkan dapat terjadi transformasi fasa dari paduan yang akan merubah sifat dan karakteristik paduan logam aluminium tersebut. Proses *heat treatment* dilakukan dengan memanaskan sampel hingga mencapai suhu 500 °C, ditahan selama 1 jam dan selanjutnya didinginkan secara cepat *quenching* menggunakan media air pada suhu 25,3 °C. Dari hasil *quenching* dilakukan pengujian dan salah satunya adalah uji kekerasan menggunakan *metode Vickers*.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh Mg terhadap kekerasan logam paduan AlFeNiMg dengan variasi Mg 0,5%, 1 % dan 1,5% menggunakan tungku lebur busur listrik/*arc furnace*.

TEORI

Kekerasan (*Hardness*) merupakan salah satu sifat mekanik dari suatu bahan atau material. Untuk mengetahui sifat mekanik suatu bahan, harus dilakukan pengujian secara mekanik, salah satu cara pengujian kekerasan adalah pengujian kekerasan *metode Vickers*. Pada pengukuran kekerasan metode *vickers* digunakan suatu benda penekan intan, dengan bentuk piramida lurus dengan alas bujur sangkar dan dengan sudut puncak 136 °, ditekan ke dalam material/bahan yang diuji dengan gaya F tertentu selama waktu tertentu. Kekerasan *vickers* dapat diperoleh dengan membagi gaya penekan dengan luas bekas tekanan pada permukaan bahan yang diukur ketahanan terhadap deformasi. Persamaan untuk nilai kekerasan *vickers* ini dapat dituliskan sebagai :

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

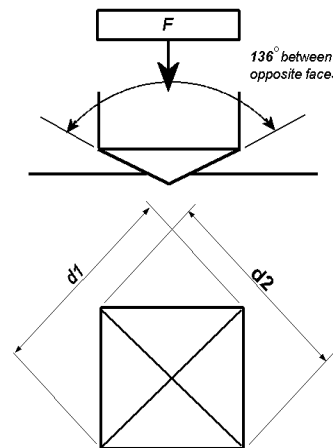
dengan :

VH = nilai kekerasan *Vickers*

F = gaya penekan, dalam satuan *kgf*

d = panjang diagonal bekas desakan mm

Pada gambar-1 adalah melukiskan harga d_1 dan d_2 dari ilustrasi gaya penekanan yang dilakukan penekan intan.



Gambar-1. Metode uji kekerasan model *vickers*

Karakteristik yang dipilih untuk mengatasi kenaikan kekerasan ini adalah mengatur penambahan kadar unsur magnesium (Mg) yang diketahui mempunyai pengaruh yang signifikan pada sifat mekanis paduan aluminium, penambahan Mg yang akan dilakukan ditetapkan pada (0,5 ; 1 ; 1,5) % Mg. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, dan pengamatan struktur mikro.

Proses awal dari *heat treatment* adalah *solution treatment*, dimana material dipanaskan pada temperatur 500°C. Pada kondisi ini struktur mikro material mengalami restrukturisasi dan matriks aluminium mendekati titik cairnya tetapi masih berbentuk padat dan lunak, yang akan memudahkan berlangsungnya proses difusi paduan. Sedangkan proses *quenching*, yaitu proses pendinginan material hasil *solution* dengan cepat menggunakan media air. Proses ini bertujuan untuk menjebak paduan-paduan yang telah berdifusi ke dalam matriks agar tidak keluar lagi, sehingga struktur mikronya tetap pada kondisi lewat jenuh. *Quenching* merupakan proses yang kritical untuk menghasilkan distribusi seragam dari fasa presipitat yang akan terjadi pada saat proses aging. Jika larutan padat hasil *solution* didinginkan dengan lambat, paduan yang tadinya terdistribusi di dalam matriks akan keluar dan kembali ke keadaan semula.

METODOLOGI

Metoda yang dilakukan untuk membuat paduan AlFeNiMg adalah dengan melebur serbuk Al, Fe, Ni dan Mg pada *arc furnace*, sedangkan untuk mengetahui karakterisasi paduan AlFeNiMg hasil peleburan yaitu dengan meletakkan sampel pada *diamond pasta*, dipoles hingga rata selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dan pengambilan gambar Mikrostruktur.

Bahan

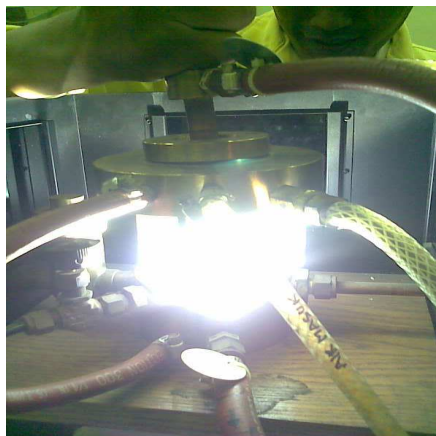
Bahan yang digunakan untuk pembuatan AlFeNiMg dan pengujian adalah serbuk Al, Fe, Ni, Mg, gas argon HP, ampelas, *diamond pasta*, *grinding paper*.

Alat

Alat yang digunakan adalah timbangan analitik, alat press/kompaksi, homogenisasi, tungku busur listrik, tungku pemanas, alat poles, mesin uji kekerasan *Vickers*, Mikroskop optik.

Cara Kerja

Pembuatan spesimen AlFeNiMg dimulai dengan penimbangan bahan serbuk yang terdiri dari serbuk Al, Fe, Ni dan Mg ditimbang menggunakan timbangan analitik, dengan pemaduan (1%Fe – 1%Ni - 0,5%Mg), (1%Fe – 1%Ni - 1%Mg) dan (1%Fe – 1%Ni - 1,5%Mg) dari berat keseluruhan, selanjutnya dilakukan pencampuran dan kompaksi hingga didapatkan lempengan sampel, kemudian dilakukan pemanasan pada suhu 450 °C selama 1 jam supaya pada saat peleburan tidak pecah. Untuk membuat paduan logam AlFeNiMg dilakukan peleburan pada tungku busur listrik/*arc furnace* dengan arus 110-125 ampere seperti terdapat pada Gambar 2. Selanjutnya hasil peleburan dilakukan pemanasan hingga suhu 500 °C ditahan selama 1 jam, kemudian didinginkan secara cepat atau *quenching* pada air dengan suhu 25,3 °C.



Gambar-2. Proses peleburan AlFeNiMg dalam tungku busur listrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Spesimen

Hasil penimbangan komposisi Alumunium (Al) dan logam pepadunya ferro (Fe), nikel (Ni) dan magnesium (Mg) sebagai berikut :

Tabel-1. Hasil penimbangan bahan sampel.

| No | Sampel | Komposisi | Al (mg) | Fe (mg) | Ni (mg) | Mg (mg) |
|----|--------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | I | Al + 1 % Fe + 1 % Ni + 0,5 % Mg | 9750,0 | 100,0 | 100,0 | 50,1 |
| 2 | II | Al + 1 % Fe + 1 % Ni + 1 % Mg | 9700,3 | 100,3 | 100,1 | 100,2 |
| 3 | III | Al + 1 % Fe + 1 % Ni + 1,5 % Mg | 9650,1 | 100,2 | 100,2 | 150,2 |

Keterangan :

komposisi masing-masing yang terbentuk untuk;

sampel I = 97,5%Al; 1%Fe, 1%Ni, 0,5%Mg

sampel II = 97%Al; 1%Fe, 1%Ni, 1%Mg

sampel III = 96,5%Al; 1%Fe, 1%Ni, 1,5%Mg

Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan setelah preparasi sampel yang ditempatkan pada *diamond pasta* dan dipoles sampai halus, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *vickers HV₂* dengan beban $F = 19,61 \text{ N} \approx 1,999663 \text{ kgf}$ dan hasil pengujian tersebut terdapat pada Tabel 2.

Tabel-2. Hasil pengujian dan harga kekerasan bahan

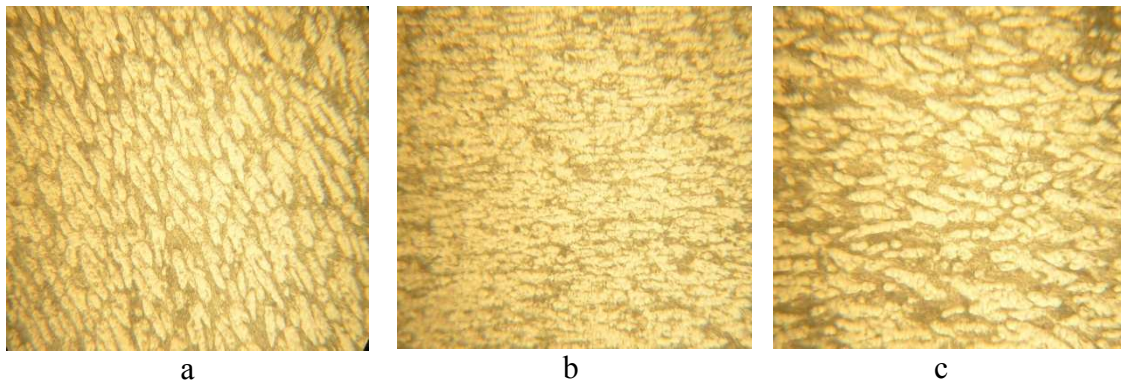
| No | Komposisi | Arah | Hasil Pengujian (diagonal dalam mm) | | | | | | | Kekerasan rerata (HV) |
|----|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-----------------------|
| I | Al + 1%Fe + 1 % Ni + 0,5 % Mg | ↓ | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | | | | (41,20±1,09) |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | | | | |
| | | Rerata (mm) | 0,30 | 0,30 | 0,295 | 0,295 | | | | |
| | | Nilai HV | 41,2 | 41,2 | 42,6 | 42,6 | | | | |
| | | ↔ | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | | |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,32 | 0,30 | 0,30 | | |
| | | Rerata (mm) | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | | |
| | | Nilai HV | 41,20 | 41,20 | 41,20 | 38,60 | 41,20 | 41,20 | | |
| II | Al + 1%Fe + 1 % Ni + 1 % Mg | ↓ | 0,30 | 0,30 | 0,30 | | | | (42,30±0,96) | |
| | | | 0,28 | 0,29 | 0,29 | | | | | |
| | | Rerata (mm) | 0,290 | 0,295 | 0,295 | | | | | |
| | | Nilai HV | 44,10 | 42,60 | 42,60 | | | | | |
| | | ↔ | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | | |
| | | | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | | |
| | | Rerata (mm) | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,295 | 0,295 | 0,295 | | |
| | | Nilai HV | 41,20 | 41,20 | 41,20 | 42,60 | 42,60 | 42,60 | | |

| No | Komposisi | Arah | Hasil Pengujian (diagonal dalam mm) | | | | | | Kekerasan rerata (HV) |
|-----|-----------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| III | Al + 1%Fe + 1% Ni + 1,5% Mg | ↑ | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,29 | | |
| | | | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,29 | 0,28 | | |
| | | Rerata (mm) | 0,295 | 0,295 | 0,295 | 0,295 | 0,285 | | |
| | | Nilai HV | 42,60 | 42,60 | 42,60 | 42,60 | 45,70 | | |
| | | ↔ | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,28 |
| | | | 0,28 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,29 |
| | | | Rerata (mm) | 0,285 | 0,285 | 0,290 | 0,290 | 0,285 | 0,285 |
| | | Nilai HV | 45,70 | 45,70 | 44,10 | 44,10 | 45,70 | 45,70 | 45,70 |
| | | | | | | | | | |

Keterangan :

↑ = arah atas bawah

↔ = arah samping



Gambar- 3. Topografi mikrostruktur paduan AlFeNiMg dengan Mikroskop optik
(a) 0,5%Mg, (b) 1%Mg dan (c) 1,5%Mg

Dalam proses pembuatan logam paduan AlFeNiMg dipersiapkan serbuk bahan paduan yang telah diaduk secara merata, bahan telah dikompaksi dan sebelum dilakukan peleburan menggunakan tungku busur listrik/*arc furnace diplasing* terlebih dahulu secara vakum kemudian disemurkan gas argon dan diulang sebanyak 3 kali. Untuk mendapatkan hasil paduan logam dengan tingkat homogenitas yang baik dan sempurna sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor parameter pada saat peleburan, antara lain arus listrik yang disesuaikan dengan suhu titik lebur dari bahan paduan utama, waktu proses peleburan, aliran gas argon dan jumlah proses pengulangan peleburan. Pada peleburan AlFeNiMg menggunakan arus listrik 110 ampere yang disesuaikan dengan unsur utama yaitu Al, waktu yang diperlukan setiap peleburan sekitar 30 detik, aliran gas argon yang terjaga dan dilakukan 2 kali pengulangan peleburan setiap permukaan logam yang dilebur.

Dari percobaan ini dapat dibuat sampel paduan logam AlFeNiMg menggunakan tungku lebur busur listrik berat 10 gram aluminium paduan dengan kandungan 1%Fe, 1%Ni dan variasi Mg masing-masing 0,5%, 1% dan 1,5% dan didapatkan paduan logam AlFeNiMg cukup baik untuk selanjutnya dilakukan pengujian. Pemilihan metode *Vickers* untuk pengujian sampel AlFeNiMg karena sampel yang dibuat relatif kecil sehingga metode *vickers* lebih tepat untuk melakukan pengujian ini. Pada pengujian kekerasan *vickers* diukur berdasarkan ketahanan material terhadap deformasi ^[2] yang diberikan pembebanan dan setelah dilepaskan, tidak kembali ke bentuk semula akibat indentasi oleh suatu alat uji.

Pada tabel-2 hasil pengujian menunjukkan bahwa data kekerasan pada hampir seluruh permukaan sampel relatif merata hal ini menunjukkan bahwa hasil peleburan memiliki homogenisasi yang cukup baik. Harga kekerasan untuk masing-masing variasi Mg yang berbeda didapatkan harga kekerasan yang berbeda pula, kandungan Mg 0,5% memiliki harga kekerasan HV=41,2±1,09, Mg1% HV=42,3±0,96 dan Mg1,5% harga kekerasan HV=44,4±1,45 sehingga semakin besar kandungan Mg, maka harga kekerasannya makin tinggi.

Gambar 3.a , 3.b dan 3.c. memperlihatkan struktur butir paduan AlFeNi hasil perlakuan panas pada suhu 500°C cenderung berbentuk granular dengan struktur fasa terdiri dari fasa α dan θ . Fasa yang terbentuk pada paduan AlFeNiMg merupakan rejeksi dari larutan padat aluminium bila kadar Fe atau Ni yang terkandung dalam paduan tersebut melebihi kemampuan larut-padat fasa α -Al. Mikrostruktur paduan AlFeNiMg yang tampak pada Gambar 3b memperlihatkan kecenderungan perubahan struktur butir yang pipih dan bertransformasi membentuk struktur butir yang relatif lebih kecil.

KESIMPULAN

Pada pembuatan paduan logam AlFeNiMg menggunakan tungku lebur busur listrik untuk aluminium paduan dengan kandungan 1%Fe, 1%Ni dan variasi Mg masing-masing 0,5%, 1% dan 1,5%, dapat disimpulkan arus listrik yang digunakan sebesar 110 ampere dan hasil pengujian *Vickers* setelah mengalami proses *quenching* didapatkan harga kekerasannya untuk masing-masing variasi Mg 0,5% HV=(41,20±1,09), Mg1% HV=(42,30±0,96) dan Mg1,5% didapatkan harga kekerasan HV=(44,40±1,45) dan pengamatan mikrostruktur memperlihatkan struktur butir paduan AlFeNi hasil perlakuan panas pada suhu 500°C cenderung berbentuk granular dengan struktur fasa terdiri dari fasa α dan θ .

DAFTAR PUSTAKA

1. M. HUSNA AL HASA, YATNO DWI AGUS SUSANTO, SLAMET PRIBADI, RAHMIATI, "Pengembangan Teknologi Bahan Struktur dan Dukung Elemen Bakar Nuklir Paduan logam Alumunium", Prosiding Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2008, PTBN-BATAN 2008.
2. SIGIT, Dr.Ir, "Bahan Dukung dan Struktur", Diklat Teknologi Industri Bahan Bakar Nuklir, PEBN-Pusdiklat BATAN, 1995.
3. SURDIA, T., SAITO S. "Pengetahuan Bahan Teknik", PT.Pradnya Paramita, Jakarta, 1992.