

## PENGARUH WAKTU PEMANASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR FASA PADUAN ALUMINIUM FERRO NIKEL

M.Husna Al Hasa<sup>(1)</sup> dan Anwar Muchsin<sup>(1)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314

E-mail: [mhalhasa@yahoo.com](mailto:mhalhasa@yahoo.com)

(Naskah diterima: 26-04-2011, disetujui: 23-05-2011)

### ABSTRAK

**PENGARUH WAKTU PEMANASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR FASA PADUAN ALUMINIUM FERRO NIKEL** Paduan aluminium sebagai kelongsong bahan bakar akan mengalami proses perlakuan panas diatas suhu rekristalisasi. Suhu dan waktu perlakuan panas akan berdampak terhadap sifat logam. Waktu pemanasan memungkinkan akan mempengaruhi perubahan sifat mekanik, termal dan struktur fasa logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan fasa paduan logam. Pengujian sifat mekanik terutama kekerasan bahan dilakukan dengan metode Vicker. Pengamatan perubahan mikrostruktur dilakukan dengan metalografik-optikal dan struktur fasa dianalisis berdasarkan pola difraksi sinar x. Analisis unsur senyawa fasa paduan dilakukan dengan EDS-SEM. Hasil pengujian sifat kekerasan menunjukkan paduan AlFeNiMg dengan pemanasan pada 500 °C dengan waktu pemanasan 1 jam, 2 jam dan 3 jam menurun masing-masing berkisar 94,4 HV, 87,6 HV dan 85,1 HV. Sifat kekerasan paduan AlFeNi menunjukkan penurunan seiring dengan semakin lama waktu pemanasan. Hasil pengamatan metalografik-optikal memperlihatkan mikrostruktur mengalami perubahan seiring dengan meningkatnya waktu pemanasan. Mikrostruktur memperlihatkan semakin lama waktu pemanasan cenderung berbentuk struktur butir equiakial yang semakin membesar dan hasil analisis pola difraksi menunjukkan kecenderungan pembentukan fasa  $\alpha$  dan fasa  $\theta$  (FeAl<sub>3</sub>) dalam paduan.

**Kata kunci:** waktu pemanasan, sifat mekanik, struktur fasa, paduan AlFeNiMg

### ABSTRACT

**PENGARUH WARMING TIME OF MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURAL PHASE ALUMINUM ALLOY NICKEL.** *ferrous aluminum alloys as fuel cladding will experience the process of heat treatment above the recrystallization temperature. Temperature and time of heat treatment will affect the nature of the metal. Heating time allows will affect change in mechanical properties, thermal and structure of the metal phase. This study aims to determine the effect of time of heat treatment on mechanical properties and phase metal alloys. Testing the mechanical properties of materials, especially violence done by the method of Vicker. Observation of microstructural changes made by metalografik-optical and phase structure were analyzed Based on the x-ray diffraction patterns Elemental analysis phase alloy compounds made by EDS-SEM. Test results show the nature of violence AlFeNiMg alloy by heating at 500 ° C with a warm-up time 1 hour, 2 hours and 3 hours respectively decreased range HV 94.4, 87.6 and 85.1 HV HV. The nature of violence AlFeNi*

*alloy showed a decrease in line with the longer heating time. Metallografik-optical observations show the microstructural changes with increasing heating time. Microstructure shows the longer the heating time cenderung equiakial shaped grain structure of growing and the results showed a trend analyst diffraction pattern formation and phase  $\theta$   $\alpha$  phase (FeAl<sub>3</sub>) in the alloy.*

**Key words:** warm-up time, mechanical properties, phase structure, alloy AlFeNiMg

## PENDAHULUAN

Aluminium dan paduannya secara umum telah digunakan pada berbagai bidang industri terutama industri transportasi, bidang konstruksi dan termasuk industri nuklir. Paduan aluminium dengan unsur pepadu magnesium dan silikon telah digunakan pada instalasi nuklir terutama untuk bahan struktur kelongsong bahan bakar serta peralatan dukung lainnya<sup>[1]</sup>. Paduan aluminium dengan unsur pepadu Fe dan Ni telah dikembangkan pula untuk digunakan sebagai bahan kelongsong bahan bakar reaktor riset masa depan. Paduan aluminium sebagai kelongsong bahan bakar dalam proses fabrikasinya akan mengalami perlakuan panas. Perlakuan panas tersebut akan mempengaruhi sifat mekanik bahan struktur kelongsong yang mengungkung bahan bakar. Perubahan sifat mekanik akibat perlakuan panas sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu pemanasan. Suhu dan waktu pemanasan memungkinkan sifat mekanik akan mengalami perubahan yang cenderung meningkat atau menurun. Perubahan sifat mekanik ini dapat diketahui dengan melakukan proses perlakuan panas di atas suhu rekristalisasi dengan memvariasi waktu pemanasan. Waktu pemanasan yang semakin meningkat memungkinkan akan menurunkan sifat bahan menjadi lebih lunak. Selain itu, perlakuan panas yang melibatkan unsur pepadu Fe, Ni dan Mg berpotensi akan memacu terjadinya reaksi senyawa dengan unsur Al melalui proses difusi yang membentuk senyawa logam intermetalik<sup>[2]</sup>. Proses perlakuan panas ini menggunakan tungku sirkulasi udara yang berlangsung di atas suhu rekristalisasi dan di bawah

temperatur titik cair. Pada temperatur tersebut memungkinkan kondisi struktur fasa paduan aluminium sebagian besar dalam bentuk kubus. Proses perlakuan panas tersebut memungkinkan akan menghasilkan senyawa logam berupa fasa  $\theta$ , fasa  $\kappa$ , fasa  $\tau$  dan fasa lainnya<sup>[3]</sup>. Fasa  $\theta$  (FeAl<sub>3</sub>) mulai terbentuk pada daerah komposisi 0,04-37 % berat Fe di bawah suhu 652 °C [4]. Fasa  $\theta$  ini merupakan hasil transformasi dari pepaduan Al dan Fe yang mengikuti reaksi fasa *eutectic*, yaitu  $L \rightarrow \alpha + \theta$ . Kadar Fe dalam paduan melebihi batas larut padat di atas 0,04% cenderung akan membentuk fasa  $\theta$ <sup>[5]</sup>. Fasa  $\kappa$  mulai terbentuk pada daerah komposisi 0,04-42 % berat Ni di bawah temperatur 640 °C. Fasa  $\kappa$  ini merupakan hasil transformasi dari pepaduan Al dan Ni yang mengikuti reaksi fasa *eutectic*, yaitu  $L \rightarrow \alpha + \kappa$ . Apabila kadar Ni dalam paduan melebihi batas larut padat di atas 0,04 % akan membentuk fasa  $\kappa$  (NiAl<sub>3</sub>). Besarnya fasa  $\kappa$  sangat dipengaruhi oleh tingkat persentase kadar Ni dalam paduan. Kadar Ni semakin tinggi mengakibatkan semakin memperbesar jumlah fasa  $\kappa$  dalam paduan. Reaksi fasa eutectik paduan aluminium dan besi mulai terjadi pada temperatur 652 °C dengan kadar 1,8 % Fe dan membentuk fasa padat  $\alpha + \theta$  yaitu Al+FeAl<sub>3</sub>. Fasa  $\alpha$  memiliki batas kemampuan larut padat (*solid solubility*) Fe dalam fasa  $\alpha$  (Al) sampai maksimum 0,04%Fe pada temperatur 652 °C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak pengaruh waktu pemanasan pada suhu 500°C terhadap sifat bahan terutama sifat kekerasan dan struktur fasa paduan aluminium. Data hasil penelitian ini diharapkan akan bermanfaat sebagai data dukung pengembangan bahan struktur kelongsong bahan bakar reaktor riset.

## TATA KERJA

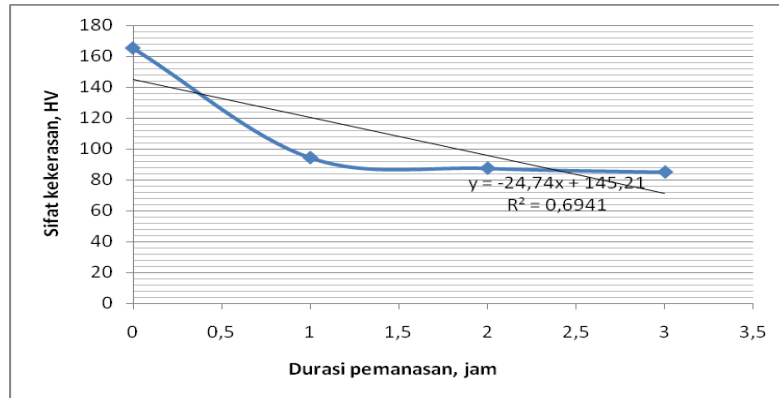
Pelat paduan AlFeNiMg hasil proses sintesis dan deformasi berukuran tebal 1,5 mm dipanaskan dalam tungku pemanas pada suhu 500°C dengan variasi waktu pemanasan selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Proses sintesis dilakukan dengan metode peleburan dan *casting* menggunakan tungku lebur yang menghasilkan paduan AlFeNiMg dalam bentuk pelat. Pelat hasil sintesis dan homogenisasi dikenai proses deformasi dengan reduksi bertahap. Proses deformasi bertahap pelat paduan AlFeNiMg dari ketebalan 13 mm menjadi 1,5 mm dilakukan pada suhu kamar. Proses perlakuan panas dilakukan di atas suhu rekristalisasi hingga suhu 500 °C dengan durasi waktu hingga 3 jam dan kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Pelat paduan AlFeNiMg hasil proses perlakuan panas dilakukan pengujian, pengamatan, dan analisis. Pengujian sifat kekerasan spesimen paduan AlFeNiMg diukur dengan menggunakan metoda Vicker. Pengamatan topografi mikrostruktur dilakukan secara metalografi-optik dan SEM. Analisis unsur senyawa fasa paduan dilakukan dengan EDS-SEM Analisis struktur fasa paduan AlFeNi dilakukan berdasarkan pola difraksi sinar x menggunakan difraktometer sinar x.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran sifat kekerasan paduan AlFeNiMg dengan metoda Vicker diperlihatkan pada Gambar 1. Pengamatan mikrostruktur paduan AlFeNi secara metalografi-optik dan SEM ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Analisis unsur senyawa fasa paduan dengan EDS-SEM ditunjukkan pada Gambar 4. Pengamatan struktur fasa berdasarkan analisis pola difraksi sinar x ditunjukkan pada Gambar 5.

Hasil uji sifat kekerasan paduan AlFeNiMg setelah mengalami perlakuan panas pada suhu 500°C selama waktu pemanasan 1 jam, 2 jam dan 3 jam

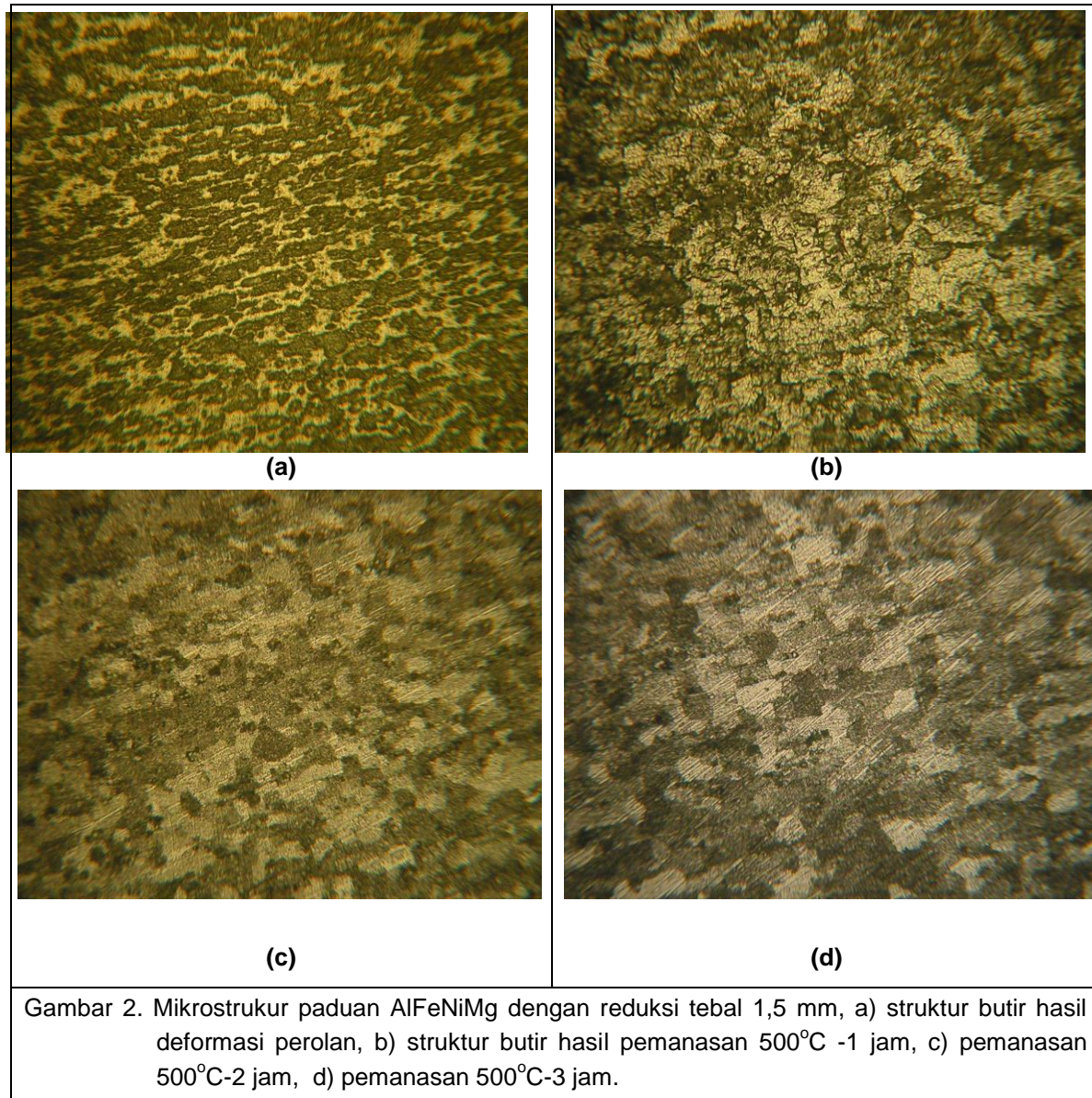
ditunjukkan pada Gambar 1. Pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik paduan aluminium AlFeNiMg cenderung mengalami perubahan sifat kekerasan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1 memperlihatkan sifat mekanik paduan AlFeNiMg cenderung menurun, yaitu sifat kekerasan. Sifat kekerasan paduan AlFeNiMg semakin menurun dengan semakin lama waktu pemanasan. Penurunan sifat kekerasan relatif meningkat pada kondisi paduan AlFeNiMg setelah mengalami pemanasan selama 1 jam yaitu dari 165 HV menjadi 94,3 HV. Sifat kekerasan cenderung semakin menurun dengan semakin lama waktu pemanasan, yaitu 87,6 HV setelah pemanasan 2 jam dan 85,1 HV setelah mengalami pemanasan 3 jam . Hal ini karena pemanasan pada suhu 500°C selama waktu 1 jam memungkinkan paduan AlFeNiMg hasil deformasi perolan mengalami proses *recovery* dan rekristalisasi yang mengakibatkan penurunan kerapatan dislokasi. Penurunan kerapatan dislokasi berdampak terhadap perubahan struktur butir yang cenderung kembali kekeadaan semula mengarah kebentuk equiakial, seperti ditunjukkan pada strukturmikro Gambar 2b. Sementara itu, waktu pemanasan semakin lama cenderung mengakibatkan sifat kekerasan semakin menurun dan penurunan sifat kekerasan cenderung semakin rendah setelah pemanasan 3 jam. Hal ini dimungkinkan karena proses *recovery* dan rekristalisasi telah berlangsung dan diikuti dengan proses pertumbuhan butir. Proses pertumbuhan butir mengakibatkan pengurangan batas butir karena terjadi penggabungan butir sehingga struktur butir semakin membesar, seperti tampak pada mikrostruktur yang ditunjukkan pada gambar 2c dan 2d. Batas butir yang semakin berkurang akan berdampak terhadap pengurangan kerapatan dislokasi. Kerapatan dislokasi semakin berkurang akan mengurangi rintangan dan hambatan gerakan dislokasi sehingga akan berakibat terhadap penurunan sifat kekerasan.



Gambar 1. Pengaruh waktu pemanasan pada suhu 500°C terhadap sifat kekerasan paduan AlFeNiMg

Mikrostruktur butir paduan AlFeNiMg hasil perlakuan panas pada suhu 500°C selama waktu pemanasan 1 jam, 2 jam dan 3 jam ditunjukkan pada Gambar 2. Mikrostruktur butir suatu logam atau paduan menggambarkan bentuk butir, fasa, inklusi maupun porositas. Bentuk butir hasil coran biasanya berbentuk laminar disertai dendrit. Mikrostruktur butir hasil coran yang telah mengalami proses homogenisasi akan mengalami perubahan bentuk butir yang mengarah ke bentuk equiaxial. Mikrostruktur hasil deformasi perolan cenderung butirnya akan mengalami pipih-memanjang dan sifat mekanik relatif meningkat. Mikrostruktur hasil deformasi perolan dingin yang dikenai perlakuan panas akan mengalami proses rekristalisasi yang mengakibatkan struktur

butir mengarah ke bentuk equiaxial dan sifat mekaniknya cenderung menurun. Gambar 2 memperlihatkan bahwa mikrostruktur cenderung membesar dengan semakin lama waktu pemanasan dan berdampak terhadap sifat mekaniknya yang semakin menurun pula. Pembesaran butir yang ditunjukkan pada Gambar 2c dan 2d dalam bentuk equiaxial merupakan mekanisme pertumbuhan butir. Mekanisme pertumbuhan butir ini akan berdampak terhadap struktur butir yang mengakibatkan batas butir menjadi lebih sedikit. Batas butir semakin berkurang akan mengakibatkan kerapatan dislokasi dan penghalang pergerakan dislokasi menjadi menurun yang memberi dampak terhadap penurunan sifat mekanik.

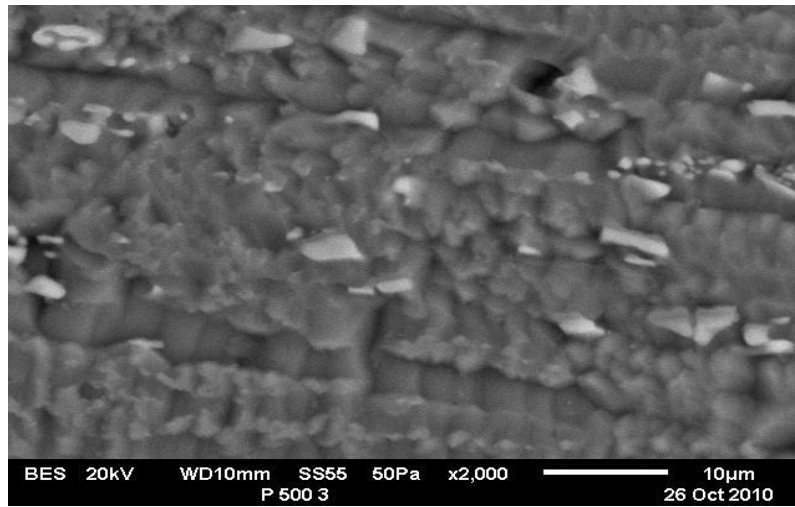


Hasil pengamatan mikrostruktur paduan AlFeNiMg yang mengalami pemanasan pada suhu 500°C selama 3 jam dengan SEM ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan morfologi mikrostruktur dengan pembesaran 5.000 x tampak struktur butirnya berbentuk equiaksial yang cenderung berwarna gelap dan terang. Daerah berwarna terang teridentifikasi sebagai fasa  $\alpha$  dan daerah berwarna gelap diidentifikasi sebagai fasa  $\alpha$  dan senyawa fasa logam. Senyawa fasa logam yang terbentuk dimungkinkan adalah fasa  $\theta$ . Fasa  $\theta$  ini merupakan senyawa logam  $\text{FeAl}_3$ . Hal ini sebagaimana diperoleh hasil analisis pola

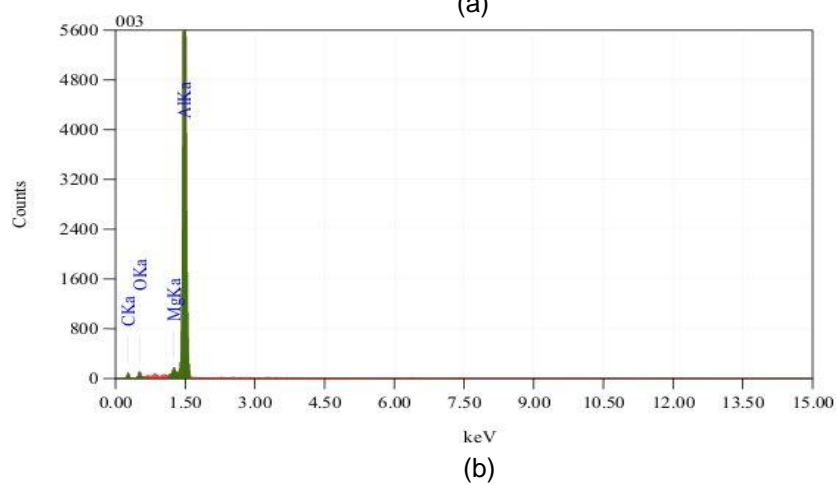
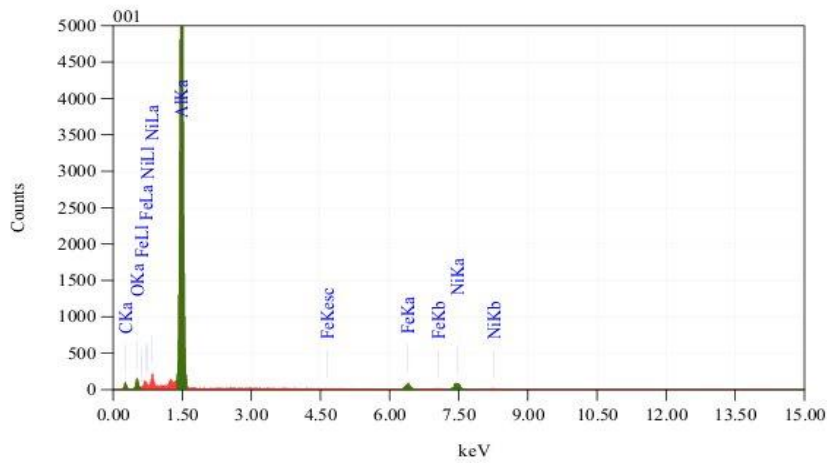
difraksi sinar-x yang diperlihatkan pada Gambar 5. Analisis kualitatif dan semi kuantitatif dengan EDS (*Electron Dispersif X-Ray Spectrophotometer*) terhadap paduan AlFeNiMg ditunjukkan pada Gambar 4. Analisis EDS daerah warna gelap dan terang pada mikrostruktur Gambar 4 menunjukkan terkandung unsur Al, Fe, Ni dan Mg. Analisis semi kuantitatif pada daerah titik tersebut memperlihatkan terdapat persentase Al sekitar 81,05%, Fe sebesar 4,24%, Ni sebesar 7,23% dan Mg sejumlah 1,31 %. Kondisi ini memungkinkan memacu terjadinya proses pembentukan senyawa logam membentuk fasa  $\theta$ . Fasa  $\theta$  diidentifikasi sebagai

senyawa logam  $FeAl_3$ . Identifikasi senyawa logam ini juga didukung oleh data hasil analisis difraksi sinar x yang memperlihatkan

adanya puncak pola difraksi senyawa logam  $FeAl_3$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Morfologi mikrostruktur paduan AlFeNiMg dengan SEM



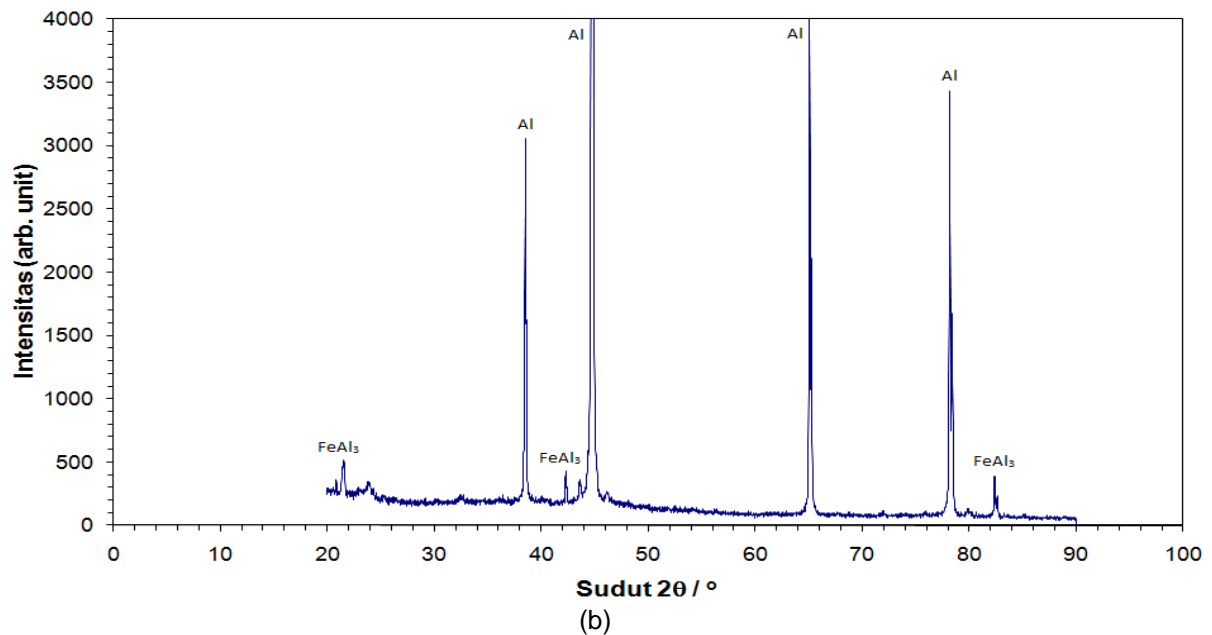
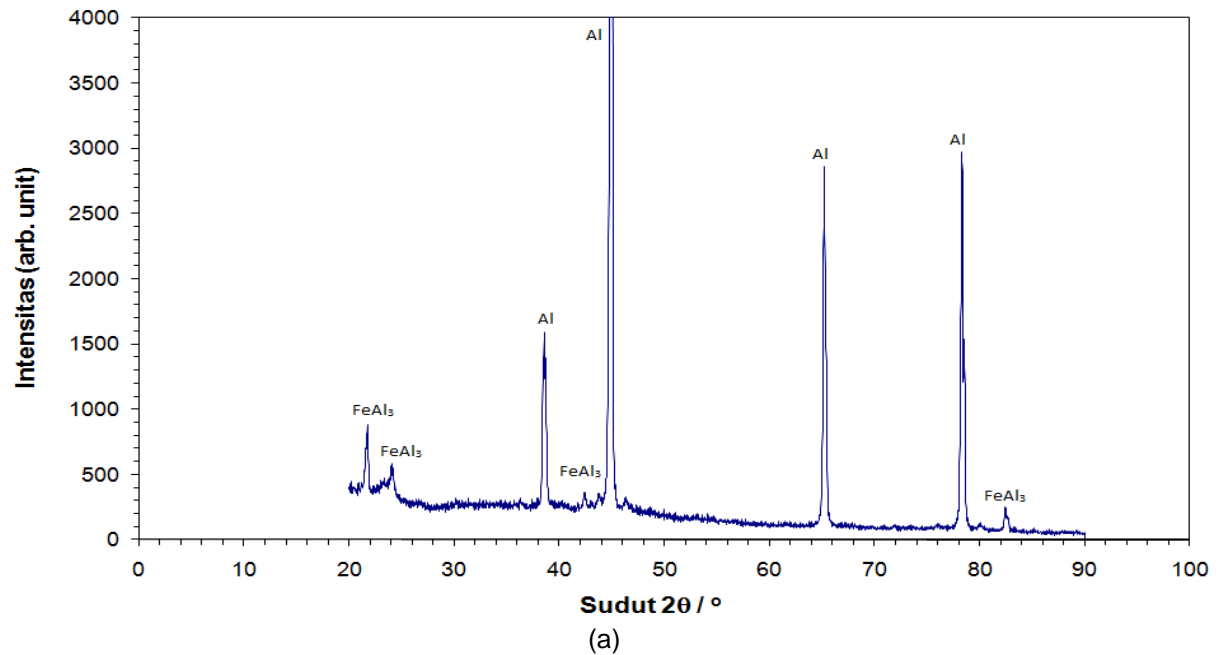
Gambar 4. Spektrum EDS paduan AlFeNiMg, a) pada daerah terang, b) pada daerah gelap

Pola difraksi paduan AlFeNiMg hasil perlakuan panas pada suhu 500°C ditunjukkan pada Gambar 5. Pola difraksi memperlihatkan puncak-puncak fasa, yaitu puncak fasa  $\alpha$  dan  $\theta$ . Puncak fasa  $\alpha$  untuk masing-masing bidang hkl berada pada sudut difraksi  $2\theta$  antara 35°-83°. Puncak fasa  $\theta$  untuk masing-masing bidang hkl berada pada sudut difraksi  $2\theta$  antara 21°-78°. Puncak fasa  $\kappa$  untuk masing-masing bidang hkl berada pada sudut  $2\theta$  antara 22°-52°. Berdasarkan persamaan BRAGG dan PDF<sup>[6]</sup> dengan panjang gelombang ( $\lambda_{Cu}$ )=1,542 menunjukkan bahwa puncak fasa  $\alpha$  berada pada sudut  $2\theta$  sebesar 39°, 45°, 65°, 78°, 83° dan 99° pada masing-masing bidang hkl, yaitu 111, 200, 220, 311, 222 dan 400. Puncak fasa  $\theta$  berada pada sudut  $2\theta$  sebesar 22°, 24°, 41°, 43°, 44°, 47°, 64°, 66°, 78° dan 82. Puncak fasa  $\kappa$  berada pada sudut  $2\theta$  sebesar 22°, 24°, 25°, 29°, 35°, 36°, 37°, 41°, 43°, 45°, 46°, 47° dan 52°. Gambar 5 memperlihatkan pola difraksi paduan AlFeNiMg hasil perlakuan panas yang menghasilkan puncak-puncak fasa  $\alpha$  pada sudut  $2\theta$  berkisar antara 39°, 45°, 65°, 78°, 82° dan puncak fasa  $\theta$  pada sudut  $2\theta$  berkisar antara 22°, 24°, 43° dan 82°. Besaran sudut  $2\theta$  untuk puncak fasa  $\alpha$ , dan  $\theta$  pada pola difraksi Gambar 5 cenderung mendekati sama dengan besaran sudut  $2\theta$  pada PDF dan hasil perhitungan dengan persamaan BRAGG. Sementara itu, fasa  $\alpha$  dan  $\theta$  menunjukkan lebih dari 3 puncak, sedangkan fasa  $\kappa$  tidak teridentifikasi adanya puncak. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur fasa yang terbentuk merupakan fasa  $\alpha$  dan  $\theta$ . Fasa  $\alpha$  merupakan aluminium (Al), fasa  $\theta$  adalah senyawa FeAl<sub>3</sub> dan fasa  $\kappa$  merupakan senyawa NiAl<sub>3</sub>. Pembentukan fasa  $\theta$  ini merupakan proses reaksi antara Fe dan aluminium yang terjadi akibat rejeksi dari larutan padat aluminium yang melebihi kemampuan larut-padat dalam struktur fasa  $\alpha$ <sup>[7]</sup>. Rejeksi ini terjadi karena kelarutan atom Fe dalam struktur fasa  $\alpha$  telah melampaui batas yang diizinkan, yaitu melebihi di atas 0,04% Fe sehingga aluminium bereaksi mengikat Fe

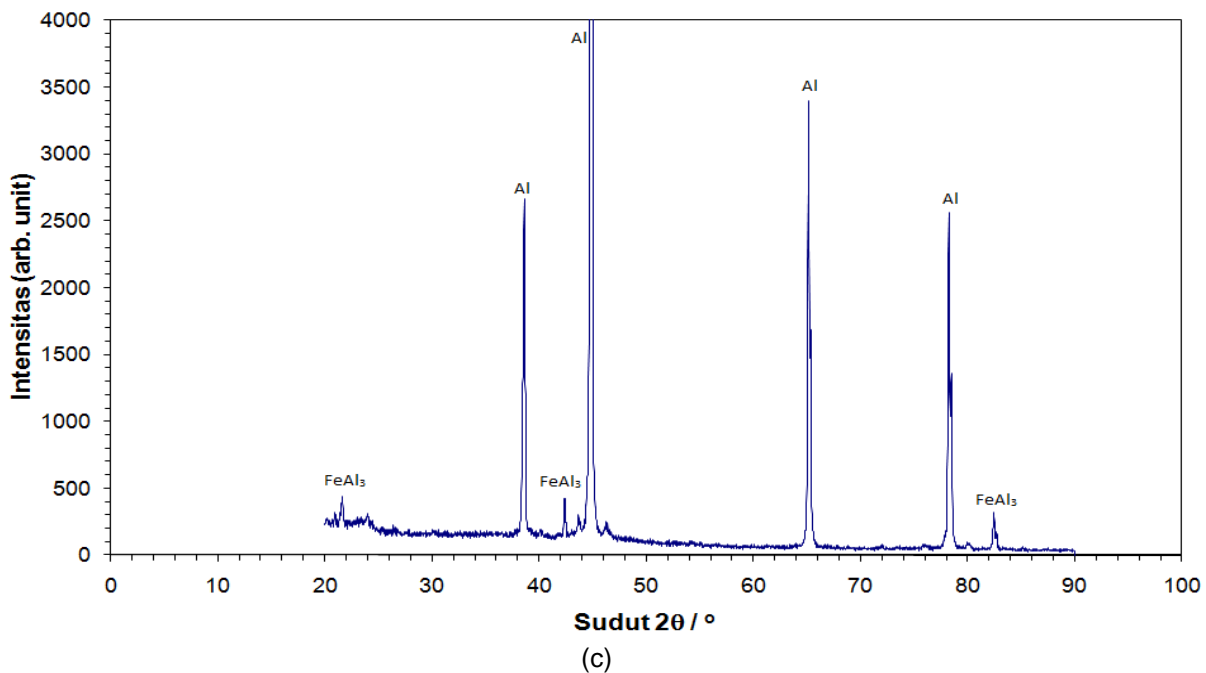
membentuk senyawa FeAl<sub>3</sub>. Selain itu, berdasarkan hasil identifikasi fasa menunjukkan adanya puncak-puncak difraksi berimpit dengan pola difraksi fasa Al yang berstruktur kubus. Gambar 5a memperlihatkan pada sudut  $2\theta$  berkisar 38° dan 44° terdapat *splitting* puncak yang teridentifikasi mengandung lebih dari 1 fasa, yaitu memiliki dua fasa. Fasa tersebut diduga merupakan fasa Al atau fasa solid solution Al yang memiliki struktur kristal sama dengan fasa Al, namun parameter kisinya berbeda akibat adanya substitusi atom Fe, Ni, atau Mg. Hasil identifikasi fasa menunjukkan bahwa fasa pertama yaitu fasa Al atau solid solution Al dengan bidang (111), (200), (220), (311), dan (222) berturut-turut berada pada sudut difraksi  $2\theta = 38,51^\circ; 44,94^\circ; 65,23^\circ; 78,34^\circ$ , dan  $82,46^\circ$ . Pada fasa kedua diduga juga fasa Al atau solid solution Al dengan bidang (111) dan (200) berturut-turut berada pada sudut difraksi  $2\theta = 38,75^\circ; 45,17^\circ$ ; sedangkan bidang (220) dan (311) berimpit dengan fasa Al pada sudut difraksi  $2\theta = 65,44^\circ$  dan  $78,58^\circ$ . Keberimpitan puncak pada sudut tinggi terjadi karena menurut kaidah pola difraksi sinar-x bahwa faktor dirac semakin besar pada sudut-sudut tinggi sehingga *splitting* puncak tidak terlihat. Gambar 5b dan 5c merupakan pola difraksi paduan AlFeNiMg yang telah mengalami pemanasan 2 jam dan 3 jam. Paduan AlFeNiMg setelah mengalami pemanasan di atas 2 jam menunjukkan kecenderungan puncak pola difraksi tidak terjadi *splitting*. Gambar 5b memperlihatkan pola difraksi puncak yang mengandung satu fasa pada sudut difraksi  $2\theta$ , yaitu  $38,55^\circ, 44,77^\circ, 65,08^\circ$  dan  $78,19^\circ$  dengan bidang (111), (200), (220) dan (311). Sementara itu, gambar 5c mengidentifikasi pola difraksi puncak yang terdapat satu fasa pada sudut difraksi  $2\theta$ , yaitu  $38,65^\circ, 44,85^\circ, 65,18^\circ$  dan  $78,28^\circ$  dengan bidang (111), (200), (220) dan (311). Perubahan pola difraksi puncak fasa pada paduan AlFeNiMg yang mengalami pemanasan di atas 2 jam dimungkinkan karena fasa larut padat bertransformasi

membentuk fasa  $\theta$ . Kondisi ini dapat terjadi karena waktu dan energi difusi atom semakin meningkat. Selain itu, Kondisi ini memungkinkan memacu pertumbuhan butir fasa kedua hasil rejeksi dari larutan padat aluminium yang mengakibatkan penurunan kerapatan dislokasi dan batas butir. Hal ini

sekaligus akan berdampak terhadap perubahan sifat kekerasan yang cenderung menurun. Keadaan ini sebagaimana ditunjukkan oleh mikrostruktur butir yang semakin membesar berbentuk equiakial, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.







Gambar 5. Pola difraksi sinar x paduan AlFeNiMg a) hasil deformasi perolan, b) hasil pemanasan pada 500°C selama 1 jam, c) hasil pemanasan pada 500°C selama 2 jam, d) hasil pemanasan pada 500°C selama 3 jam

## SIMPULAN

Sifat mekanik paduan AlFeNiMg terutama sifat kekerasan cenderung menurun setelah mengalami proses pemanasan pada suhu 500°C. Sifat kekerasan menurun seiring dengan semakin lama waktu pemanasan dari 165 HV berturut-turut menjadi 94,4 HV, 87,6 HV dan 85,1 HV. Hasil pengamatan metalografik-optikal memperlihatkan mikrostruktur mengalami perubahan seiring dengan meningkatnya waktu pemanasan. Topografi mikrostruktur cenderung berbentuk struktur butir equiaksial dan semakin membesar dengan semakin lama waktu pemanasan. Puncak pola difraksi menunjukkan kecenderungan terjadi pembentukan fasa kedua yang mengarah kepada struktur fasa  $\theta$  ( $\text{FeAl}_3$ ). Struktur fasa paduan AlFeNiMg terdiri dari fasa  $\alpha$  (Al) dan senyawa fasa  $\theta$  ( $\text{FeAl}_3$ ).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak atas bantuan dan dukungan terhadap kelancaran penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga menghasilkan tulisan dalam bentuk makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. AL HASA, M.H., (2008), Peningkatan Sifat mekanik Bahan Struktur Paduan Aluminium Fero Nikel Dengan Penguatan Fasa Kedua Dan Struktur Butir, Jurnal Ilmiah daur Bahan Bakar Nuklir, URANIA, Volume 14 No.1, hal.1-10,
- [2]. RAYNOR, G.V., RIVLIN, G.V., (1988), Phase Equilibria in iron Ternary Alloy, The institute of Metals, New york,

- [3]. PETZOW, G., EFFENBERG, G., (1992), Ternary Alloy AlFeNi, Vol.15, Germany: ASM, International.
- [4]. AL HASA, M.H., (2007), Formasi fasa dan Mikrostruktur Bahan struktur Paduan Aluminium Fero-Nikel Hasil proses sintesis, Jurnal Ilmiah daur Bahan Bakar Nuklir, URANIA, Volume 13 No.3, hal.99-107.
- [5]. MONDOLFO, L.F, (1979), *Aluminium Alloys, Structure and Properties*, hal.283-285, Buterworths, London.
- [6]. Anonym, *PDF Card, International Center For data Diffraction*, 2008.
- [7]. RAYNOR, GV., RIVLIN, GV., (1988), *Phase Equilibria in iron Ternary Alloy*, The institute of Metals, New york.