

## IDENTIFIKASI FASA PADUAN AlMg-2 DENGAN METODE DEFRAKSI SINAR X DAN METALOGRAFI SELEKTIF

M. Husna Al Hasa, J.B. Hersubeno \*\*, Nusin Samosir \*\*  
\*\* Pusat Elemen Bakar Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

IDENTIFIKASI FASA PADUAN AlMg-2 DENGAN METODE DEFRAKSI SINAR X DAN METALOGRAFI SELEKTIF. Paduan AlMg-2 digunakan sebagai bahan pembungkus elemen bakar reaktor riset G.A. Siwabessy. Pada proses fabrikasinya, pembungkus elemen bakar di rol dan dikenai perlakuan panas. Proses perolan dapat mengakibatkan deformasi pada pembungkus elemen bakar. Pada jenis paduan AlMg, deformasi pada tingkat tertentu yang tidak dibarengi dengan perlakuan panas yang sesuai akan mempercepat kecenderungan pembentukan endapan senyawa antar-logam di sepanjang batas butir. Karena sifatnya yang lebih anodik daripada fasa matriknya, kehadiran fasa endapan ini sangat tidak diinginkan. Pembungkus akan terkorosi intergranular bila berada dalam media korosif. Untuk mengamati fenomena fasa endapan ini, pelat paduan AlMg-2 dideformasi hingga 133 % dengan cara pengerolan pada temperatur 400°C, 450°C dan 500°C. Pelat kemudian dianil pada temperatur 425°C selama 1 jam. Pengamatan pembentukan fasa endapan dilakukan dengan difraktometer sinar x dan uji metalografi selektif. Dari pengamatan dapat ditunjukkan bahwa proses pembentukan fasa endapan tidak terjadi pada pengerolan pada temperatur 400°C. Kecenderungan terjadinya fasa endapan dapat dijumpai pada proses perolan pada temperatur 450°C dan 500°C dan diidentifikasi sebagai senyawa Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>.

### ABSTRACT

IDENTIFICATION OF THE AlMg<sub>2</sub> ALLOY PHASE USING THE X-RAY DIFFRACTION AND SELECTIVE METALLOGRAPHY. The AlMg-2 alloy is used as fuel cladding of the G.A. Siwabessy research reactor. In its fabricating process, the cladding was addressed by rolling and annealing. The rolling process generates deformation on the cladding. Deformation at a certain degree which is not followed by proper heat-treatment strengthens the tendency of the formation of the intermetallic compound precipitated in the grain boundaries. Because this compound is more anodic than the matrix phase, the presence of the intermetallic phase is not expected. The cladding will create intergranular corrosion if it is in a corrosive environment. To observe the phenomena of the precipitation phase, the AlMg alloy plates were subjected to a rolling deformation up to 133 % at 400°C, 450°C and 500°C. The plates were then annealed for one-hour at 425°C. The observation on the precipitated phase formed was performed using x-ray diffraction and selective metallography. The observation results indicated that at the rolling temperature of 400°C there was no formation of the precipitated phase. The tendency of the intermetallic phase formation can be invented at the rolling temperature of 450°C and 500°C, and is identified as Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> compound.

### PENDAHULUAN

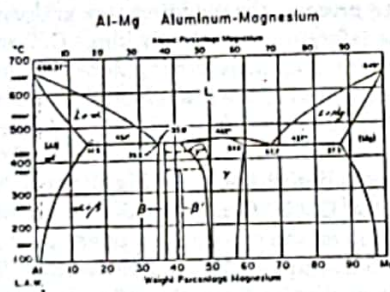
Paduan aluminium-magnesium telah dipilih dan digunakan sebagai bahan pembungkus bahan bakar dispersi U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-Al dan U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al tipe MTR (Material and Testing Reactor). Pemilihan ini antara lain didasarkan kepada tampang lintang serapan neutron termal relatif rendah, konduktivitas termal tinggi, kestabilan tinggi terhadap radiasi dan ketahanan terhadap korosi baik. Paduan aluminium magnesium tidak bisa dikeraskan dengan perlakuan panas (non heat treatable alloy). Pengaruh penguatan dan pengerasan yang diberikan oleh unsur Mg adalah melalui penguatan larutan padat (solid solution

strengthening) secara substitusional. Makin tinggi Mg yang larut padat di dalam aluminium, semakin meningkat kekuatan dan kekerasan paduannya. Namun demikian unsur Mg yang tinggi akan menyebabkan terbentuknya fasa (Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>) dan kecenderungan terbentuknya fasa ini semakin cepat dengan naiknya tingkat deformasi pada paduan AlMg atau apabila dikenai perlakuan panas yang tidak sesuai [1]. Fasa Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> cenderung mengendap di batas butir sebagai fasa yang bersifat lebih anodik daripada matrik Al[1,6], sehingga reaksi korosi antar-



butiran (intergranular corrosion) mudah terjadi bila berada di dalam media korosif [1].

Dari diagram fasa sistem biner Al-Mg, terlihat bahwa fasa eutektik yang merupakan fasa kedua ( $Al_3Mg_2$ ) terletak pada komposisi 35% Mg dan temperatur 451°C. Magnesium (Mg) mempunyai batas kemampuan larut padat (solid solubility) dalam aluminium sebesar 14,9% pada temperatur 451°C. Dengan turunnya temperatur, kadar Mg yang larut padat juga berkurang menjadi 11,8% pada temperatur 400°C, 6% pada temperatur 300°C, 4% pada temperatur 200°C dan lebih kurang menjadi 2% pada temperatur 100°C. Penurunan kelarutan ini dibarengi dengan rejeksi senyawa antar-logam  $Al_3Mg_2$  dari larutan padat  $\alpha$  (Al). Fasa  $Al_3Mg_2$  terbentuk bila kadar Mg dalam paduan lebih besar dari 2% [2]. Fasa  $Al_3Mg_2$  berbentuk kasar dan bersifat getas di bawah temperatur 327°C, tetapi menunjukkan sifat plastis pada temperatur tinggi [2]. Apabila pada paduan AlMg kandungan unsur silikon (Si) lebih besar dari 0,05% akan terbentuk pula fasa  $Mg_2Si$  [2]. Diagram keseimbangan Al-Mg dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram keseimbangan Al-Mg

Pada penelitian ini pelat pembungkus dari bahan paduan AlMg-2 disiapkan melalui proses penyikatan, pencucian dengan *perchlorylene*, perolan panas dan *annealing* selama 1 jam pada temperatur 425°C di dalam tungku sirkulasi udara. Proses perolan panas dilakukan di atas temperatur rekristalisasi yaitu pada temperatur 400°C, 450°C dan 500°C dengan deformasi total sebesar 133%.

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati terbentuknya senyawa antar-logam pada paduan AlMg-2 yang dikenai deformasi sebesar 133% melalui perolan pada temperatur 400°C, 450°C dan 500°C. Pengamatan dilakukan terhadap pelat hasil perolan panas, baik yang langsung dikenai proses anil maupun yang tidak dianil. Identifikasi fasa dilakukan dengan metoda defraksi sinar x dan metalografi selektif.

#### TATAKERJA

Dalam penelitian ini digunakan bahan AlMg-2 dengan kandungan unsur pepadu utama Mg sebesar 2,010% dan kandungan unsur-unsur lain seperti Si 0,12%; Cr 0,090%; Mn 0,012%; Fe 0,115% dan Ti 0,005% [5].

Rakitan rol pasangan pelat paduan AlMg-2 yang telah dibersihkan dan dihaluskan permukaannya, terlebih dahulu dipanaskan di dalam tungku pemanas selama 30 menit sebelum dikenai proses perolan. Pemanasan pelat dilakukan pada temperatur 400°C, 450°C dan 500°C masing-masing selama 30 menit. Perolan dilakukan bertahap hingga deformasi total sebesar 133% untuk masing-masing pelat pada kondisi temperatur seperti di atas. Spesimen hasil perolan panas dianil selama 1 jam pada temperatur 425°C. Identifikasi fasa yang terbentuk diamati dengan metode defraksi sinar x dan secara metalografi selektif. Pengamatan secara metalografi selektif untuk fasa  $Al_3Mg_2$  dan  $Mg_2Si$  dilakukan pada spesimen hasil poles tanpa etsa dan pada spesimen hasil poles yang dietsa. Spesimen tanpa etsa diamati di bawah mikroskop optik dan difoto. Spesimen tersebut kemudian dietsa dengan larutan asam *hydrofluoric* selama 30-45 detik. Permukaan spesimen hasil etsa diamati di bawah mikroskop dan difoto pada daerah yang sama seperti pada spesimen tanpa etsa. Kedua hasil pengamatan kemudian dibandingkan untuk mengamati bentuk dan warna partikel fasa kedua. Di samping itu pula diamati pengaruh larutan etsa pada partikel tersebut.

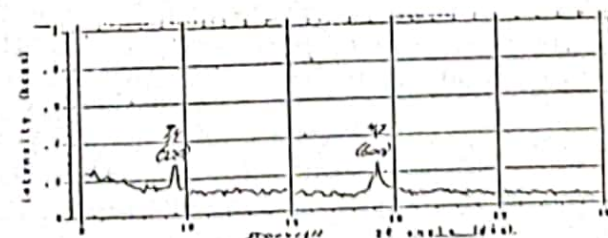
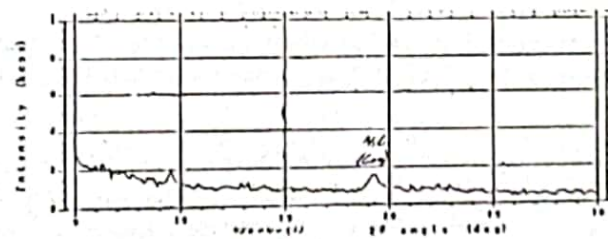
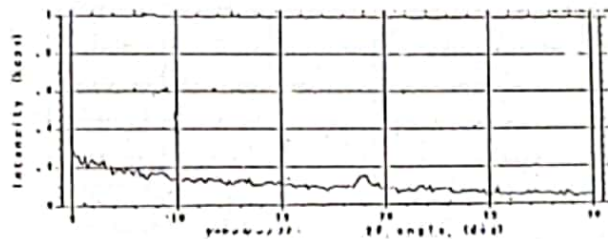
#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan defraksi sinar x pada spesimen AlMg-2 hasil perolan pada 400°C, 450°C dan 500°C dengan deformasi total 133% sebelum dianil dan setelah dianil ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2, 3, 4, 5. Hasil pengamatan metalografi selektif diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7.

Gambar 2 dan 3 memperlihatkan pola defraksi paduan AlMg-2 yang menghasilkan

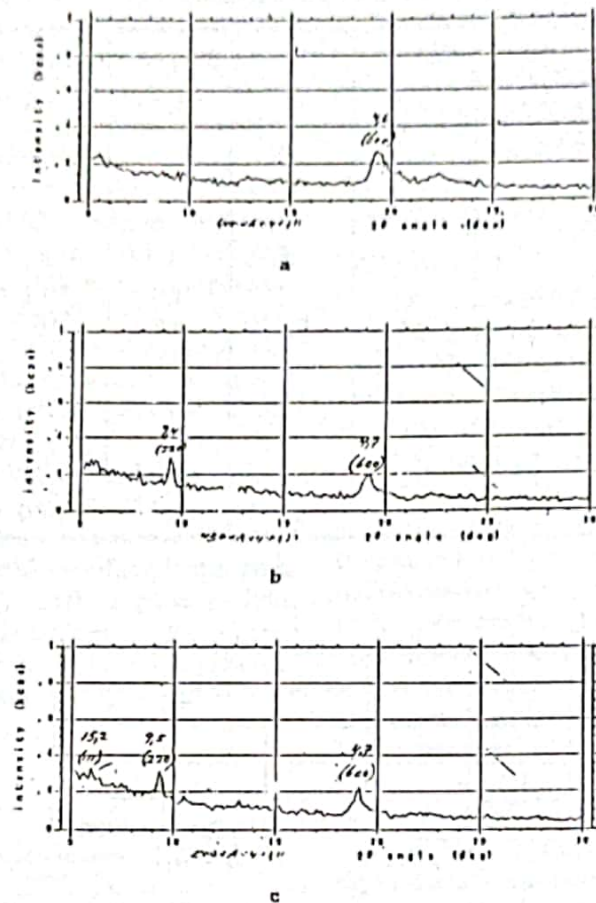
Tabel 1. Data jarak antar bidang (d) dan sudut difraksi 2 θ senyawa  $Al_3Mg_2$  hasil difraksi sinar-x dan hasil perhitungan

Hasil	d(Å) 111	20	d(Å) 220	20	d(Å) 600	20	Keterangan
Perhitungan	16,3	5,4	9,9	8,9	4,7	18,9	Data spektrum dari JPDS
							Sebelum dianil
XRD	-	-	-	-	-	-	- Perolan 400°C
	-	-	-	-	4,6	19,1	- Perolan 450°C
	-	-	9,4	9,4	4,7	19	- Perolan 500°C
XRD							Setelah dianil
	-	-	-	-	4,6	19,3	- Perolan 450°C
	-	-	9,4	9,4	4,7	19	- Perolan 450°C
	15,2	5,8	9,5	9,3	4,7	18,9	- Perolan 500°C



Gambar 2. Pola difraksi senyawa  $Al_3Mg_2$  pada paduan AlMg-2 hasil deformasi total 133% sebelum dianil, a) Perolan pada 400°C, b) Perolan pada 450°C, c) Perolan pada 500°C



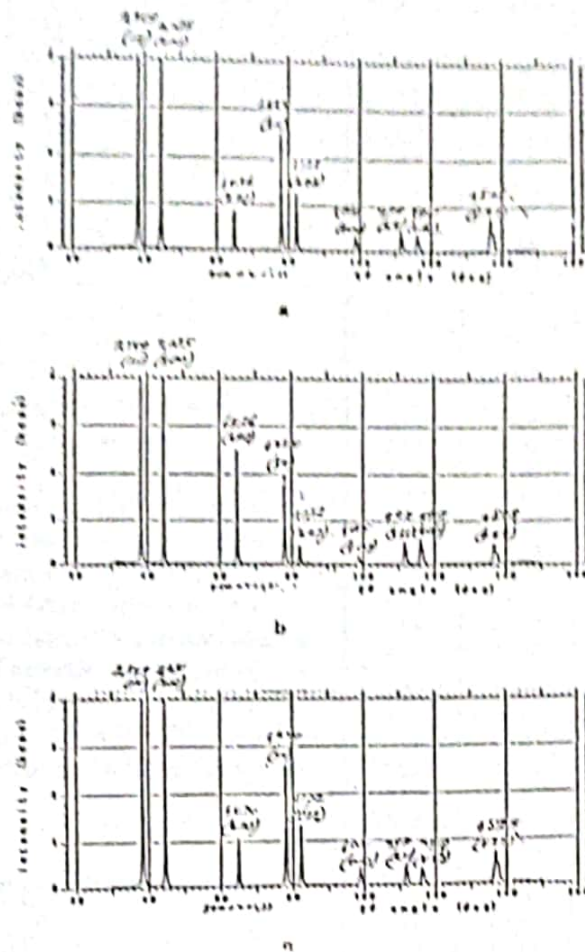


Gambar 3. Pola difraksi senyawa  $Al_3Mg_2$  pada paduan AlMg-2 hasil deformasi total 133% setelah dianil selama 1 jam pada 425°C, a) Perolan pada 400°C, b) Perolan pada 450°C, c) Perolan pada 500°C

puncak-puncak fasa $\beta$ , yaitu senyawa logam  $Al_3Mg_2$ . Gambar 4 dan 5 menunjukkan pola difraksi paduan AlMg-2 yang menghasilkan puncak-puncak fasa $\alpha$  (Al) dengan bentuk cukup ramping dan jelas. Pola difraksi paduan AlMg-2 menghasilkan puncak-puncak fasa  $Al_3Mg_2$  yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan senyawa antar-logam  $Al_3Mg_2$  relatif sedikit, karena konsentrasi unsur Mg dalam paduan hanya sekitar 2,01 % [5].

Gambar 2a memperlihatkan pola difraksi spesimen AlMg-2 hasil perolan pada 400°C sebelum dianil yang tidak menghasilkan puncak, dan setelah dianil selama 1 jam pada 425°C memperlihatkan pola difraksi dengan satu puncak dari bidang hkl (600) dengan jarak antar bidang 4,6 Å pada sudut difraksi (2 $\theta$ ) 19,3° seperti ditunjukkan pada Gambar 4a. Spesimen

AlMg-2 hasil perolan pada 450°C sebelum dianil memperlihatkan pola difraksi dengan satu puncak dari bidang hkl (600) dengan jarak antar bidang 4,6 Å pada sudut difraksi (2 $\theta$ ) 19,1° yang ditunjukkan pada Gambar 2b. Gambar 3b memperlihatkan spesimen AlMg-2 hasil perolan pada 450°C dan dianil selama 1 jam pada 425°C, menghasilkan dua puncak dari bidang hkl (220) dan (600) dengan jarak antar bidang 9,4 Å dan 4,7 Å pada sudut difraksi (2 $\theta$ ) 9,4° dan 19°. Gambar 2c menunjukkan bahwa spesimen AlMg-2 hasil perolan pada 500°C sebelum dianil memperlihatkan pola difraksi dengan dua puncak dari bidang hkl (220) dan (600) dengan jarak antar bidang 9,4 Å dan 4,7 Å pada sudut difraksi ((2 $\theta$ ) 9,4° dan 19°. Untuk spesimen setelah dianil selama 1 jam pada 425°C pola difraksinya ditunjukkan pada Gambar 3c. Dari gambar tersebut terlihat adanya tiga puncak dari



Gambar 4. Pola difraksi Al pada spesimen paduan AlMg<sub>2</sub> hasil deformasi total 133% sebelum dianil, a) Perolan pada 400°C, b) Perolan pada 450°C, c) Perolan pada 500°C

bidang hkl (111), (220) dan (600) dengan jarak antar bidang 15,2 Å; 9,5 Å dan 4,7 Å pada sudut defraksi (2θ) 5,8°; 9,3° dan 18,9°.

Gambar 2 dan 3 memperlihatkan bahwa pada perolan temperatur lebih tinggi, sebelum dianil maupun setelah dianil puncak-puncak senyawa antar logam Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini menunjukkan kecenderungan pembentukan fasa Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> lebih besar pada temperatur perolan 450°C dan 500°C. Fasa Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>, berupa partikel halus, cenderung mengendap di batas butir [3,4], seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Hal ini disebabkan karena pada daerah batas butir kandungan unsur Mg lebih tinggi daripada di daerah butir [3]. Menurut Mondolfo, L.F [2], selain terbentuk fasa endapan Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> pada paduan AlMg, ternyata dapat pula terjadi fasa endapan Mg<sub>2</sub>Si apabila kandungan unsur Si

lebih besar dari 0,05%. Dalam penelitian ini, bahan paduan AlMg-2 yang digunakan mengandung unsur Si sebesar 0,12% [5]. Dengan demikian selain fasa endapan Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>, mungkin dijumpai pula fasa endapan Mg<sub>2</sub>Si. Berdasarkan hasil perhitungan jarak antar bidang dengan menggunakan persamaan BRAGG [7] atas data spektrum Mg<sub>2</sub>Si dari JPDS, puncak-puncak senyawa antar-logam Mg<sub>2</sub>Si untuk masing-masing bidang (hkl) akan berada pada sudut defraksi 2θ antara 24°-136°, seperti diperlihatkan pada Tabel 2 dan 3.

Pada percobaan ini, ternyata hasil pola defraksi spesimen paduan AlMg-2, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5, tidak menghasilkan puncak-puncak fasa Mg<sub>2</sub>Si. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar unsur Mg telah diikat oleh Al membentuk senyawa

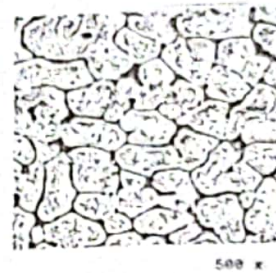


Tabel 2. Data jarak antar bidang (d) dan sudut defraksi 20  $Al_3Mg_2$  dan  $Mg_2Si$  hasil perhitungan

Fasa	hkl	d	$\theta$	2 $\theta$
$Mg_2Al_3$	111	16,30	2,71	5,4
	200	14,12	3,13	6,3
	220	9,98	4,43	8,9
	311	8,51	5,19	10,4
	222	8,15	5,43	10,9
	400	7,06	6,27	12,5
	331	6,48	6,83	13,7
	420	6,31	7,01	14,0
	422	5,76	7,69	15,4
	511	5,43	8,16	16,3
	440	4,99	8,88	17,8
	531	4,77	9,29	18,6
	600	4,70	9,43	18,9
	620	4,47	9,94	19,9
	533	4,31	10,31	20,6
622	4,26	10,43	20,9	
444	4,08	10,90	21,8	
551	3,95	11,24	22,5	
640	3,92	11,35	22,7	
642	3,77	11,79	23,6	
731	3,68	12,11	24,2	
$Mg_2Si$	111	3,69	12,06	24,1
	200	3,19	13,96	27,9
	220	2,26	19,95	39,9
	311	1,93	23,59	47,2
	222	1,84	24,71	49,4
	400	1,59	28,86	57,7
	331	1,47	31,73	63,5
	420	1,43	32,66	65,3
	422	1,30	36,23	72,5
	511	1,23	38,83	77,7
	440	1,13	43,04	86,0
	531	1,08	45,55	91,1
	600	1,07	46,38	92,8
	620	1,01	49,74	99,5
	533	0,97	52,29	104,6
622	0,96	53,16	106,3	
444	0,92	56,71	113,4	
551	0,89	59,50	119,0	
640	0,88	60,47	120,9	
642	0,85	64,54	129,1	
731	0,83	67,94	135,9	

Tabel 3. Data jarak antar bidang (d) dan sudut difraksi 20 Al

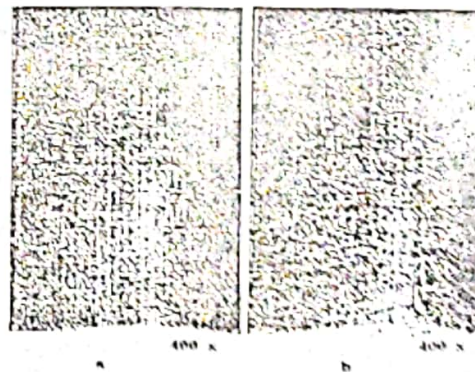
Fasa	hkl	d	$\theta$	2 $\theta$
Al	111	2,34	19,24	38,5
	200	2,02	22,38	44,8
	220	1,43	32,58	65,2
	311	1,22	39,16	78,3
	222	1,17	41,26	82,5
	400	1,01	49,60	99,2
	331	0,93	56,09	112,2
	420	0,91	58,37	116,7
	422	0,83	68,86	137,7
	511	0,78	81,59	163,2



Gambar 6. Partikel-partikel endapan  $Al_3Mg_2$  di batas butir

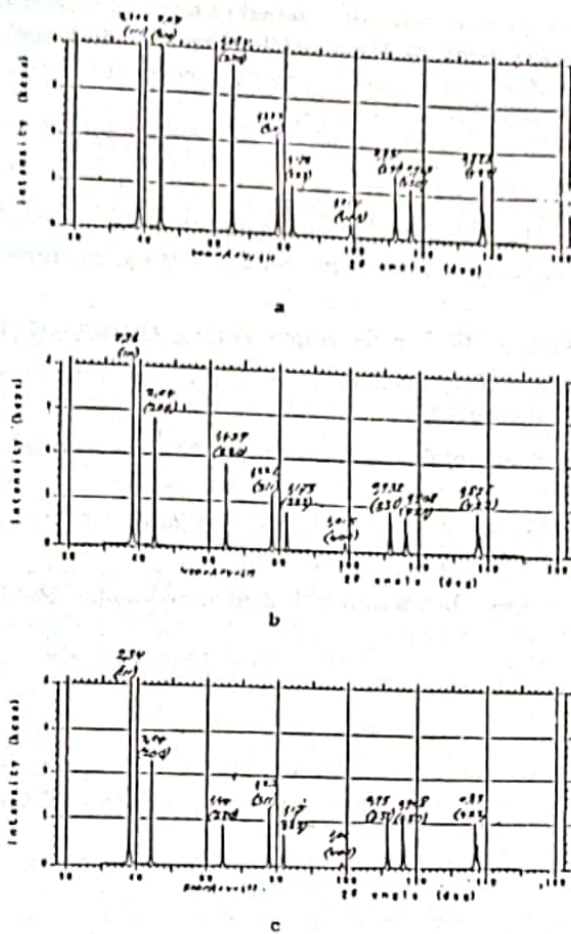
antar-logam  $Al_3Mg_2$ , sehingga tidak cukup Mg untuk membentuk fasa endapan  $Mg_2Si$ .

Dari literatur[4] menjelaskan bahwa fasa  $Al_3Mg_2$  berbentuk agak bulat atau tidak teratur dan berwarna kecoklatan. Fasa  $Mg_2Si$  berbentuk kubus dan berwarna biru terang atau hitam sebelum dietsa dan setelah dietsa akan berwarna biru. Gambar 7 dan 8 memperlihatkan partikel-partikel halus fasa endapan.

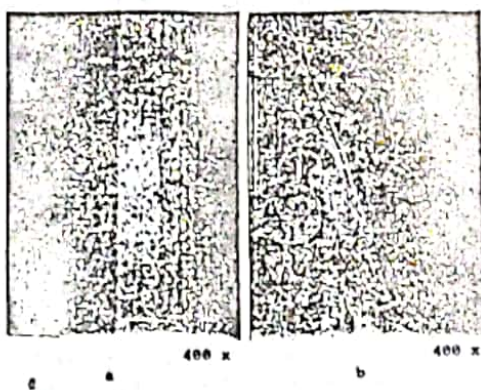


Gambar 7. Partikel-partikel halus fasa kedua  $AlMg_2$  dalam matrik Al pada paduan  $AlMg_2$  hasil perolan pada  $450^\circ C$  yang telah dianil selama 1 jam pada  $425^\circ C$ , a) tanpa etsa b) etsa 0,5% HF

Dari Gambar 7a dan 7b terlihat bahwa partikel halus fasa endapan berbentuk agak bulat dan berwarna kecoklatan sebelum dietsa, dan setelah dietsa dengan larutan HF partikel-partikel halus tersebut larut dan berlubang akibat terserang oleh larutan etsa, sehingga partikel-partikel halus tampak lebih banyak dan jelas.



Gambar 5. Pola difraksi Al pada spesimen pa- duan AlMg-2 hasil deformasi total 133% sebelum dianil, a) Perolan pada 400°C, b) Perolan pada 450°C, c) Perolan pada 500°C



Gambar 8. Partikel-partikel halus fasa kedua Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> dalam matrik Al pada paduan AlMg-2 hasil perolan pada 500°C yang telah dianil selama 1 jam pada 425°C, a) tanpa etsa b) etsa 0,5% HF

seperti ditunjukkan pada Gambar 7b dan 8b. Hal ini menunjukkan bahwa partikel halus fasa endapan yang terbentuk pada paduan AlMg-2 adalah senyawa logam yang bersifat lebih anodik daripada matriknya, dan fasa endapan tersebut berupa Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>[4] yang cenderung mengendap di batas butir[1,3] seperti terlihat pada Gambar 6. Kondisi ini tidak menguntungkan karena fasa endapan tersebut berpotensi untuk terkorosi pada daerah batas butir (Intergranular corrosion) apabila berada di dalam media korosif[1].

#### KESIMPULAN

Dari data pengamatan dapat disimpulkan sebagai berikut. Paduan AlMg-2 hasil perolan pada 400°C sebelum dan sesudah dianil tidak menimbulkan pembentukan fasa endapan. Pengerolan pada temperatur 450°C dan 500°C menunjukkan kecenderungan pembentukan fasa Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> lebih besar. Hal ini ditunjukkan



dengan semakin banyaknya puncak-puncak yang tampak pada pola difraksi. Fasa  $Al_3Mg_2$  berupa partikel-partikel halus, cenderung mengendap di batas butir. Pembentukan fasa

tersebut harus dihindarkan karena akan mengakibatkan terjadi korosi antar butir (Intergranular corrosion) dalam kondisi korosif.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Polmear, I.J, Light Alloys, Metallurgy of The Light Metal, John Willey, Inc, (1979).
2. Mondolfo, L.F, Aluminium Alloys : Structure and Properties, Butterworths, London-Boston (1976).
3. Altenpohl, D. Aluminum Viewed Within, Springer Verlag, Dusseldorf (1982).
4. Metals Handbook, Metallography, Structures and Phases Diagrams, Vol.8, 8<sup>th</sup> Edition, American Society For Metals (1973).
5. Anonym, Specifications for sheets of AlMg-2, Document No. 14-MTR-06-02, NUKEM, October (1982).
6. Trethewey, K.R. , Chamberlain. J. Corrosion, For Students of Science and Engineering, Longman Group, UK.Limited, English (1988).
7. Cullity, B.D., Element of X-Ray Diffraction 2<sup>th</sup>, Addison Wesley Publishing Company, Inc (1978).