

SINTESA PADUAN AG3NE MENGUNAKAN TUNGKU BUSUR LISTRIK

Hadijaya

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Sintesa paduan AG3NE menggunakan tungku busur listrik. Telah dilakukan percobaan pembuatan paduan AG3NE dengan metoda peleburan menggunakan tungku busur listrik. Produk yang dihasilkan dianalisa/ diuji sifat-sifat fisiknya dan dibandingkan dengan sifat fisik paduan AlMgSi yang selama ini sudah dimanfaatkan sebagai bahan struktur elemen bakar nuklir. Berdasarkan penelitian paduan AG3NE yang telah dilakukan diketahui bahwa hasil analisis komposisi : Al= 79,77%; Fe = 1,836%; Mg = 0,1303 dan Si = 0,4678%. Kekerasan AG3NE hasil cor adalah 72,70 HVN sedikit lebih rendah dari kekerasan paduan AlMgSi (79,3 HVN). Hasil karakterisasi metalografi menunjukkan bahwa paduan AG3NE memiliki ukuran butir 0,030 mm yang berarti lebih besar dari diameter butir paduan AlMgSi (0,006 mm). Hasil analisa densitas menunjukkan bahwa densitas paduan AG3NE 2,73 g/cc atau mendekati nilai pembanding (AlMgSi) yaitu 2,69 g/cc. Ketahanan korosi AlMgSi (pembanding) dalam media air demineral adalah 0,107579 mpy, sedangkan hasil pengukuran ketahanan korosi AG3NE adalah 0,1115 mpy yaitu terpaut sedikit lebih tinggi dari ketahanan korosi AlMgSi. Pada analisis XRD, terdapat 4 fasa yang ada yaitu Al, FeSi, FeSi₂ dan Fe. Fasa yang dominan adalah Al yang ditunjukkan oleh puncak yang tinggi dan prosentase 93,25% berat.

Kata kunci: Paduan AG3NE, Tungku Busur Listrik

PENDAHULUAN

Bahan bakar yang memiliki densitas tinggi mempunyai kekerasan yang lebih tinggi sehingga dalam proses fabrikasinya harus menggunakan kelongsong yang kompatibel dengan bahan bakar yang dikungkungnya. Oleh karena itu diusulkan bahan kelongsong alternatif yang sesuai yaitu paduan AlMgSiFe atau dikenal sebagai AG3NE. Paduan tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menjadi kelongsong bahan bakar densitas tinggi misalnya bahan bakar U₃Si₂/Al.

Logam paduan AlMgSiFe merupakan satu diantara sejumlah bahan struktur yang memungkinkan untuk digunakan sebagai elemen bakar nuklir bagi keperluan reaktor tipe *Multy Purpose Reactor* (MPR). Logam paduan AlMgSiFe mempunyai komposisi unsur utama yaitu Al dan sejumlah unsur penunjang seperti Fe, Mg dan Si yang mengendalikan sifat mekanis paduan.

Percobaan pembuatan paduan AlMgSiFe ini dilakukan sebagai upaya untuk menghasilkan logam bahan struktur elemen bakar nuklir dengan sifat-sifat yang lebih baik dari pada paduan AlMgSi yang merupakan produk impor untuk pembuatan bahan struktur reaktor riset. Pada percobaan sebelumnya material yang terdiri dari unsur Aluminium, Magnesium, Silika dan Besi dilebur dalam *melting furnace* pada suhu 800 °C. *Melting furnace* tipe *K2/H Naberterm* bekerja lambat dalam mencairkan semua unsur (Al, Mg, Si, Fe) sehingga sebagian besar unsur Mg teroksidasi lebih dahulu sebelum pencampuran itu terjadi. Hal ini tentunya berpengaruh terhadap homogenitas paduan dan berdampak pada

mikrostruktur dan juga terhadap sifat kekerasan paduan AG3NE. Paduan AG3NE digunakan dalam industri nuklir antara lain untuk penelitian pembuatan kelongsong bahan bakar dan bahan struktur untuk reaktor. Logam AG3NE digunakan oleh Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir (BFBBN) PTBBN untuk penelitian pembuatan kelongsong bahan bakar dan bahan struktur reaktor riset. Material kelongsong untuk bahan bakar dan bahan struktur diperoleh melalui proses peleburan. Proses peleburan AG3NE menggunakan *Arc Furnace* atau tungku busur listrik dalam kondisi teraliri gas argon.

Oleh karena itu pada pelaksanaan pembuatan paduan AG3NE kali ini digunakan tungku busur listrik (*Arc Furnace*) khususnya untuk melebur ulang (*remelting*) secara cepat dan memadukan semua *master alloy* agar menjadi satu paduan AG3NE.

Bahan baku terdiri dari Al *granule* dan potongan ingot Mg dipijarkan dalam *chamber Centorr Furnace* sementara Besi (Fe), dan Silika (Si), dilebur secara terpisah menggunakan *melting furnace* masing masing menjadi *master alloy* AlSi dan AlFe. Pada tahap berikutnya dilakukan *remelting* dengan memadukan semua *master alloy* (AlMg, AlFe dan AlSi) menggunakan tungku busur listrik sehingga dihasilkan *ingot* AlMgSiFe atau coran AG3NE. Tujuan percobaan adalah untuk mengkaji pengaruh peleburan cepat terhadap homogenitas paduan logam yang dihasilkan.

METODOLOGI

Lingkup Penelitian

- a. Proses peleburan dan penuangan paduan AG3NE.
- b. Pelaksanaan pengujian mutu coran paduan aluminium meliputi *microhardness test* dengan metoda *vicker's* dan *microstructure test* dengan metoda *jenco*, uji densitas dengan *ultrapycnometer*, uji komposisi unsur dengan alat *spectroscopy*, analisis XRD serta uji laju korosi.

Bahan yang digunakan antara lain:

- a. Pada penelitian ini digunakan aluminium (Al) *granule*, serbuk magnesium (Mg), serbuk besi (Fe), dan serbuk silika (Si). Berbagai serbuk logam yang tersedia, dibuat paduan Aluminium AG3NE dengan komposisi. Al=290,4 g; Si=0,48 g; Fe=0,78 g; Mg=8,34 g; berat total dari satu paduan AG3NE adalah 300 g.
- b. Bahan kimia untuk preparasi sampel analisis metalografi terdiri dari :
 1. Resin, adalah suatu polimer yang agak kental digunakan untuk mengungkung potongan sampel agar mudah dipegang saat *grinding* dan *polishing*.
 2. Cairan *acrylic*, adalah bahan peroksida yang berfungsi sebagai pengeras (*hardener*) resin.

3. Pasta dengan merk *AP-D Suspension 1 μ m Alumina, Deagglomerated* yang digunakan untuk melumas permukaan sampel agar mengkilap dengan baik saat *polishing*.
 4. Larutan etsa, merupakan formula kimia yang terdiri dari 15 ml HNO₃ ; 15 ml HF ; 30 ml HCL ; 40 ml aquades. Larutan etsa berfungsi sebagai formula yang dapat mengkorosi permukaan sampel agar batas butir dapat ditampilkan.
- c. Bahan kimia untuk menguji ketahanan AG3NE terhadap serangan korosi. Dalam hal ini digunakan larutan garam (NaCl) konsentrasi 15%, merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengkorosi permukaan sampel agar dapat diketahui ketahanannya.

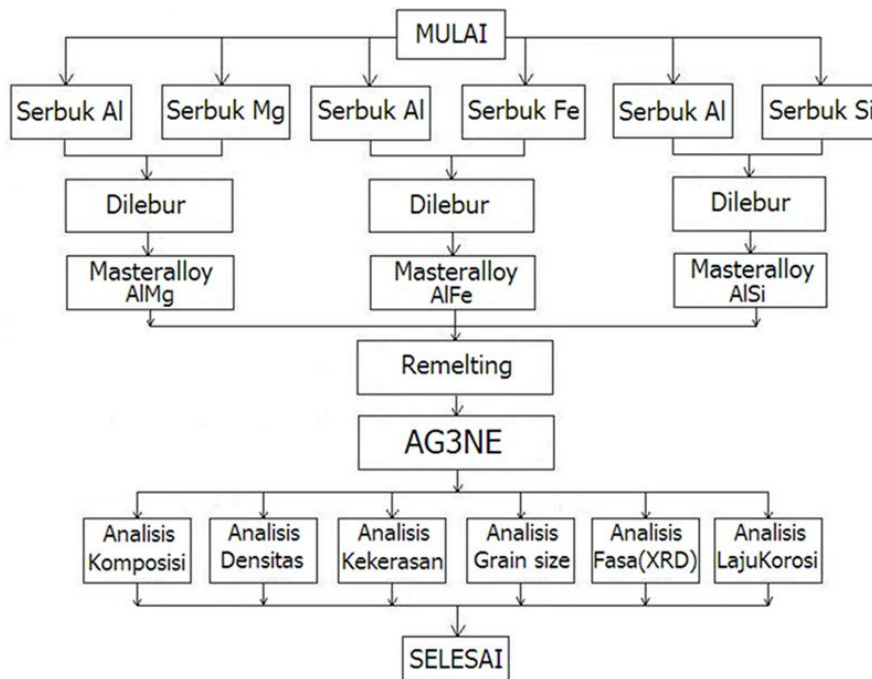
Alat yang digunakan antara lain :

- a. *Melting Furnace Tmax 1200 °C jenis K2/H Naberterm*, adalah alat untuk melebur logam paduan Aluminium.
- b. Tungku busur listrik (*Arc Furnace*) jenis *Centorr*, adalah alat untuk melebur *master-alloy* logam paduan aluminium.
- c. Cetakan logam yaitu wadah untuk membekukan aluminium cair.
- d. *Ultrapycnometer 1200-e Quantachrome* adalah alat untuk mengukur densitas AG3NE.
- e. *Accutom* kecepatan putar 600 rpm, adalah alat atau mesin potong logam
- f. *Grinder/ Polisher* jenis *Struers* kecepatan putar 1000 Rpm, adalah alat untuk menghaluskan/ memoles permukaan sampel.
- g. *Dryer box Tmax 300 °C* jenis *Struers*, adalah alat pengering untuk sampel.
- h. *Micro hardness tester Leitz* jenis *Vicker's* magnifikasi 50x, adalah alat untuk menguji kekerasan mikro logam.
- i. Mikroskop optik jenis *Nikon* perbesaran 50-400x, adalah alat untuk menganalisa struktur mikro dan mengukur diameter butir AG3NE.
- j. *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* adalah alat untuk menguji komposisi unsur pada AG3NE.

Cara Kerja

Master-alloy dibuat dengan metoda *casting* (peleburan) lalu dilebur ulang bersama-sama (*remelting*) menggunakan tungku busur listrik sehingga dihasilkan paduan AG3NE. Selanjutnya produk peleburan tersebut (AG3NE) dianalisis kekerasan mikro, ukuran butir dan struktur mikro, komposisi kimia, densitas, laju korosi serta karakteristik

XRd. Hasil analisis dibandingkan dengan paduan AlMgSi yang merupakan bahan struktur elemen bakar *import*.



Gambar 1. Diag alir percobaan pembuatan paduan AG3NE

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia

Sebagaimana direncanakan sebelumnya bahwa paduan AG3NE dirancang dengan komposisi : Al=290,4 g; Si=0,48 g; Fe=0,78 g; Mg=8,34 g; lalu masing masing (Al=12,6 gam) dipadukan dengan unsur Si, Fe dan Mg sehingga menjadi *master-alloy* AlSi, AlFe dan AlMg. Setelah itu *masteralloy* yang dihasilkan dilebur ulang (*remelting*) dengan menambahkan sisa aluminium murni (240 g). Sehingga jika dijumlahkan berat secara total dari satu paduan AG3NE adalah 300 g. Paduan AG3NE tersebut dianalisa komposisinya menggunakan alat AAS. Hasil analisa komposisi seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Komposisi unsur paduan AG3NE

No	Unsur	Direncanakan %	Hasil analisis dengan AAS %
1	Al	96,91	79,77
2	Fe	0,26	1, 8360
3	Mg	2,78	0, 1303
4	Si	0,15	0, 4678

Berdasarkan data analisis AAS untuk paduan AG3NE menunjukkan bahwa unsur Fe meningkat dari yang direncanakan. Hal ini terjadi karena kontaminasi dari pengaduk

dan cetakan. Unsur Mg lebih rendah dari yang direncanakan, karena teroksidasi pada saat dilakukan remelting sehingga sebagian besar Mg menguap. Unsur Si meningkat dari yang direncanakan karena terkontaminasi dari Si pada batu tahan api sebagai cetakan pada saat penuangan.

Kekerasan Mikro

Hasil uji kekerasan paduan AG3NE seperti pada Table 2.

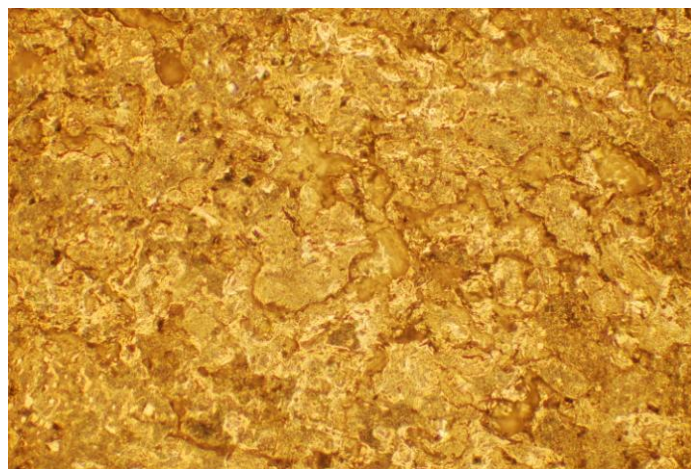
Tabel 2. Perbedaan kekerasan AIMgSi dan AG3NE

No	Jenis Paduan	Kekerasan mikro; HVN			HVN	HVN Rerata
		d ₁	d ₂	d _{rerata}		
1	AG3NE	80	80	80	86,9	72,70
		100	106	103	52,4	
		88	80	84	78,8	
2	AIMgSi	86	87	86,5	74,4	79,3
		80	82	81	84,8	
		84	84	84	78,8	

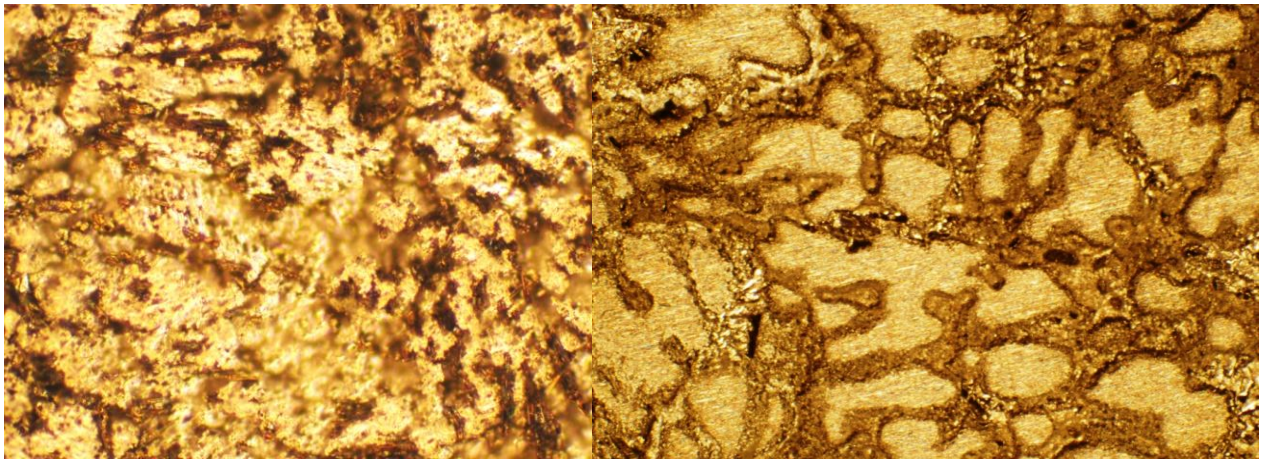
Kekerasan AG3NE hasil cor adalah 72,70 HVN sedikit lebih rendah dari kekerasan paduan AIMgSi (79,3 HVN). Nilai kekerasan paduan AG3NE sudah cukup baik karena hanya terpaut sedikit dengan kekerasan AIMgSi. Upaya meningkatkan kekerasan AG3NE nantinya dapat dilakukan melalui perlakuan termal mekanik (roll panas) mengingat bahwa paduan AG3NE ini bersifat *heat treatable* (dapat dikenai perlakuan panas).

Ukuran Butir dan Struktur Mikro

Berdasarkan pemeriksaan mikrostruktur paduan AG3NE diperoleh gambar sebagai berikut.



Gambar 2. Spesimen AIMgSi origina sebagai pembanding; Perbesaran 200x



Gambar 3. Spesimen AG3NE. Perbesaran 50x

Gambar 4. Spesimen AG3NE. Perbesaran 200x

Tabel 3. Data ukuran (diameter butir) paduan AG3NE.

No.	Kode Sampel	6x Pengulangan Pengukuran [mm ²]						drerata [mm]
		d1	d2	d3	d4	d5	d6	
1	AlMgSi	0.006	0.007	0.005	0.004	0.006	0.008	0.006
2	AG3NE	0.06	0.18	0.05	0.03	0.14	0.03	0.030

Pengamatan mikroskop optik yang dilakukan terhadap spesimen AG3NE tersebut diketahui bahwa struktur mikro paduan AG3NE yang dilebur dengan Tungku Busur Listrik memiliki sebagian besar struktur dendrit dan belum membentuk batas butir sebagaimana AlMgSi (Gambar 2). Terdapat hanya sebagian kecil saja bentuk butir karena pada saat setelah lebur dia mengalami pendinginan cepat oleh sistem pada Tungku Busur Listrik. Agar struktur mikro paduan AG3NE (Gambar 3 dan 4) menyamai struktur mikro AlMgSi maka perlu dilakukan *treatment* lanjut yaitu pengerolan panas (*hot rolling*) dan homogenisasi pada suhu 500 °C.

Densitas

Hasil pengukuran densitas paduan AG3NE dan AlMgSi sebagai pembanding ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Data densitas dari paduan AG3NE

No	Nama Sampel	Berat Sampel g	Rerata Volume cc	Rerata Densitas Nyata g/cm ³
1.	AG3NE run 1	6,6024	(2,4153±0,0008)	(2,7336±0,0009)
2.	AG3NE run 2	6,0852	(2,2274±0,0007)	(2,7320±0,0009)
3.	AlMgSi	4,8238	(1,7926±0,0005)	(2,6910±0,0009)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa densitas paduan AG3NE 2,73 g/cm³ atau mendekati nilai standard (AlMgSi) yaitu 2,69 g/cm³, hal tersebut berarti kerapatan AG3NE cukup baik karena hasilnya hampir sama dengan pembanding.

Laju Korosi

Hasil pengujian laju korosi ditampilkan pada tabel 5.

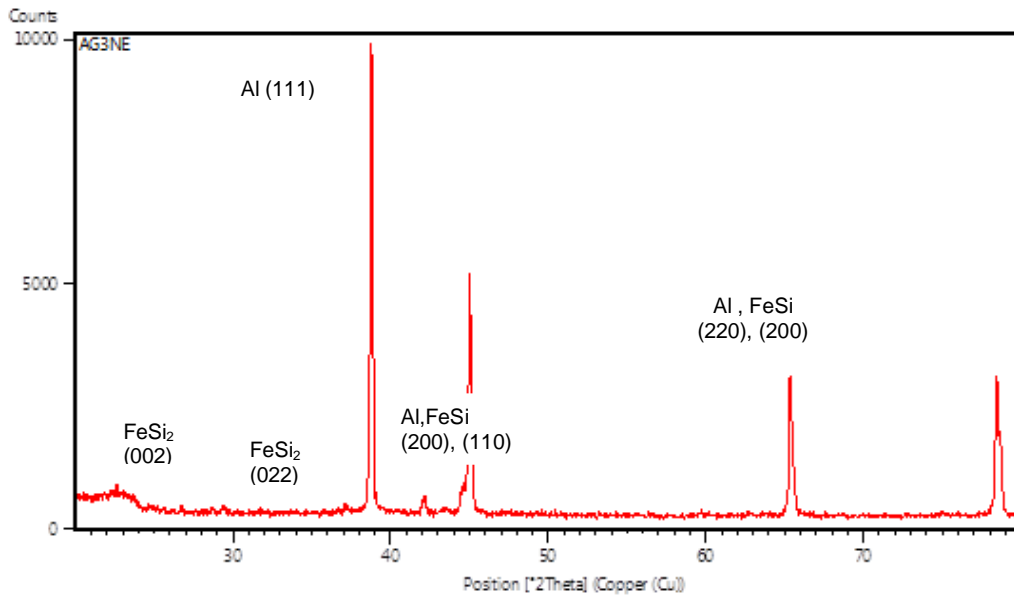
Tabel 5. Data laju korosi paduan AG3NE

Media	Metoda Polres		
	Rp (kOhms)	I _{corr} (Ampere)	CR (mpy)*
Air demin	186,3	0,453 x 10 ⁻⁶	0,1115
NaCl 3%	10,65	2,518 x 10 ⁻⁶	0,619

Proses korosi suatu bahan logam dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah komposisi kimia dan kondisi media pelarut. Analisis korosi terhadap kandidat bahan kelongsong AG3NE telah dilakukan dalam media air demineral dan NaCl menggunakan metoda Polres. Analisis sebelumnya telah diketahui bahwa ketahanan korosi AlMgSi (pembanding) dalam media air demineral adalah 0,107579 *mpy*. Hasil pengukuran ketahanan korosi AG3NE adalah 0,1115 *mpy* yaitu terpaut sedikit lebih tinggi dari ketahanan korosi AlMgSi yang pernah dianalisa sebelumnya. Hal ini karena AlMgSi merupakan bahan klongsong yang sudah mengalami pengerolan sedangkan AG3NE belum diroll.

Karakterisasi XRD

Pengukuran XRD (difraksi sinar-X) bertujuan untuk memperoleh informasi fasa yang terdapat pada sampel komposit secara kualitatif dan kuantitatif. Unsur atau senyawa yang teridentifikasi dapat dikatakan sebagai fasa. Adanya fasa kristal ditunjukkan oleh puncak-puncak kristal, sedangkan pola yang berbentuk punuk menunjukkan fasa amorf dari bahan. Hasil analisis XRD seperti pada Gambar 6 dan Tabel 6.



Gambar 6. Pola difraksi sinar-X sudut pengukuran 20 – 80 derajat dari Paduan AG3NE

Tabel 6. Interpretasi hasil Analisis XRD pada paduan AG3NE

No.	Fasa	Sdt 2θ	hkl	I (%)	Keterangan
1	Al (a)	38,4737	111	100	Struktur kristal = fcc (face centre cubic)
		44,72234	200	44.3	Parameter kisi : a=b=c: 4,05 Å
		65,28101	220	18.3	α=β=γ= 90 o
		78,46414	311	15.5	Prosen berat = 93, 25 %
					Densitas = 2,7 g/cm ³
2	FeSi (b)	44,99663	110	5	Struktur kristal : bcc (body centre cubic)
		65,52496	200	11	Parameter kisi a=b=c: 2,848 Å
					α=β=γ= 90 o
					Prosen berat = 1,5 %
			Densitas = 7,24 g/cm ³		
3	FeSi ₂ (c)	22,88359	002	9.1	Struktur kristal = Tetragonal
		32,69588	022	1	a: 9,773 Å; b: 7,715 Å; c : 7,766 Å
		41,99779	023	3.8	Prosen berat = 1,6 %
		46,74968	004	1.2	Densitas = 5,047 g/cm ³
4	Fe (d)	44,46863	110	5	Struktur kristal = bcc (body centre cubic)
		64,52576	200	11	a=b=c: = 2,886 Å
		81,89994	211		α=β=γ: = 90 A
					Prosen berat = 3, 65
			Densitas = 7,716 g/cm ³		

Hasil XRD mengindikasikan terdapat 4 fasa yaitu Al, FeSi, FeSi₂ dan Fe yang berada pada besarnya sudut 2 θ . Fasa yang dominan adalah Al yang ditunjukkan oleh puncak 2 yang tinggi dan prosentase 93,25% berat. Keberadaan FeSi, FeSi₂ dan Fe karena dalam kondisi panas terjadi *out diffusion* dari cetakan kedalam paduan sehingga Fe masuk dan menjadi senyawa/ fasa setelah bertemu dengan Si membentuk FeSi dan FeSi₂. Tidak munculnya Mg bisa diakibatkan ketidak-homogennya diffusi Mg di dalam paduan sehingga saat ditembak dengan sinar X tidak terkena. Selain itu bisa karena pengambilan permukaan yang ditembak tidak pada posisi melintang tetapi membujur. Oleh sebab itu hasil XRD tersebut perlu dicocokkan dengan hasil uji komposisi unsur Al, Mg, Fe dan Si.

KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan pembuatan paduan AG3NE yang telah dilakukan diketahui bahwa hasil analisis komposisi : Al= 79,77%; Fe = 1,836%; Mg = 0,1303 dan Si = 0,4678%. Kekerasan AG3NE hasil cor adalah 72,70 HVN sedikit lebih rendah dari kekerasan paduan AlMgSi (79,3 HVN). Hasil karakterisasi metalografi menunjukkan bahwa paduan AG3NE memiliki ukuran butir 0,030 mm yang berarti lebih besar dari diameter butir paduan AlMgSi (0,006 mm). Hasil analisa densitas menunjukkan bahwa densitas paduan AG3NE 2,73 g/cc atau mendekati nilai pembanding (AlMgSi) yaitu 2,69 g/cc. Ketahanan korosi AlMgSi (pembanding) dalam media air demineral adalah 0,107579 mpy, sedangkan hasil pengukuran ketahanan korosi AG3NE adalah 0,1115 mpy yaitu terpaut sedikit lebih tinggi dari ketahanan korosi AlMgSi. Pada analisis XRD, terdapat 4 fasa yang ada yaitu Al, FeSi, FeSi₂ dan Fe. Fasa yang dominan adalah Al yang ditunjukkan oleh puncak yang tinggi dan prosentase 93,25% berat.

SARAN-SARAN

Produk paduan AG3NE yang dihasilkan saat ini masih dalam bentuk ingot sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut dengan membuat paduan AG3NE dalam bentuk pelat dan tube agar sesuai dengan peruntukannya yaitu sebagai bahan kelongsong elemen bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya sampaikan untuk rekan-rekan operator alat analisis/ alat uji bahan baik yang berada di gedung 20 maupun di gedung 65 atas selesainya

percobaan pembuatan paduan AG3NE dan analisisnya. Semoga menjadi amal yang berkah dan diredhoi Allah Swt. Aamiin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Benjamin, M. MA., *Nuclear Reactor Materials And Applications*, Departement of Nuclear Engineering Iowa State University, 1983.
2. Hadijaya, *Pemaduan dan Karakterisasi Paduan Logam AG3NE*, Hasil-hasil Penelitian EBN (ISSN 0854-5561), 2016.
3. Djafrie, S., *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
4. Marc Andre Meyer, *Mechanical Metallurgy Principles and Application*, Prentice-Hall, 1984.
5. De Ross, Alan B., *Aluminium Casting Technology*, American Foundrymen's Society Inc, Des Plaines, Illinois, 1987.
6. Smallman, R. E, Bishop, R. J., *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Jakarta: Erlangga, 2000.
7. Van Loon, J. C., *Analytical Atomic Absorption Spectroscopy, Selected Method*, Toronto, 1980.

LAMPIRAN :

Tabel 6. Analisis Puncak sudut pengukuran 20 –80 derajat

<i>Peak Number</i>	<i>Pos. [°2Th.]</i>	<i>d-spacing [Å]</i>	<i>FWHM [°2Th.]</i>	<i>Backgr. [cts]</i>	<i>Height [cts]</i>	<i>Rel. Int. [%]</i>
1	20.19	4.3947	0.08	286	795	8.1
2	22.295	3.9843	0.12	286	801	8.2
3	22.665	3.92	0.16	286	888	9.1
4	23.24	3.8243	0.06	286	818	8.3
5	23.695	3.7519	0.16	286	590	6
6	24.95	3.566	0.32	286	213	2.2
7	26.23	3.3948	0.24	286	119	1.2
8	26.81	3.3226	0.24	286	180	1.8
9	27.655	3.223	0.12	286	121	1.2
10	28.735	3.1043	0.12	286	151	1.5
11	29.52	3.0235	0.04	286	185	1.9
12	30.35	2.9427	0.12	286	130	1.3
13	34.67	2.5853	0.06	286	102	1
14	37.175	2.4166	0.16	286	180	1.8
15	38.775	2.3205	0.1	286	9801	100
16	38.895	2.3136	0.06	286	5520	56.3
17	42.18	2.1407	0.08	286	372	3.8
18	43.455	2.0808	0.32	286	108	1.1
19	44.59	2.0304	0.16	286	493	5
20	45.015	2.0123	0.1	286	4343	44.3
21	45.14	2.007	0.06	286	2642	27
22	45.78	1.9804	0.06	286	114	1.2
23	65.355	1.4267	0.1	276	1789	18.3
24	65.55	1.4229	0.06	276	1076	11
25	78.48	1.2177	0.14	266	1521	15.5
26	78.715	1.2147	0.14	266	853	8.7