
ANALISIS KOMPOSISI BAHAN DAN SIFAT TERMAL PADUAN AlMgSi-1 TANPA BORON HASIL SINTESIS UNTUK KELONGSONG ELEMEN BAKAR REAKTOR RISET

Masrukan, Aslina Br. Ginting
Pusbangtek Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang – BATAN, Serpong

ABSTRAK

ANALISIS KOMPOSISI BAHAN DAN SIFAT TERMAL PADUAN AlMgSi-1 TANPA BORON HASIL SINTESIS UNTUK KELONGSONG ELEMEN BAKAR REAKTOR RISET. Telah dilakukan analisis komposisi bahan dan sifat termal pada paduan AlMgSi-1 hasil sintesis untuk bahan baku kelongsong elemen bakar reaktor riset. Analisis komposisi bahan dilakukan dengan menggunakan AAS sedangkan analisis termal menggunakan DTA dan DSC. Hasil pengujian komposisi menunjukkan bahwa sebagian besar unsur yang terkandung di dalam semua sampel masih memenuhi spesifikasi untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset. Sampel kedua dengan komposisi 0,45% Mg dan 1,64% Si lebih mendekati spesifikasi. Dari hasil pengujian titik lebur dan panas jenisnya terlihat bahwa semua sampel yang diuji masih memenuhi spesifikasi kelongsong elemen bakar reaktor riset. Pengujian panas jenis dilakukan dari temperatur 50 °C sampai 400 °C. Dari semua sampel yang diuji terlihat bahwa kenaikan temperatur pemanasan akan menaikkan harga panas jenisnya. Sampel kedua mempunyai temperatur lebur tertinggi (659,12 °C) tetapi panas jenis terendah (0,58 J/kg °C) pada temperatur 120 °C.

KATA KUNCI: AlMgSi-1, Sintesis, Tanpa boron, Komposisi bahan, Titik lebur, Panas jenis

ABSTRACT

ANALYSES OF COMPOSITION AND THERMAL PROPERTIES OF SYNTHESIZED AlMgSi-1 ALLOY WITHOUT BORON FOR THE FUEL ELEMENT CLADDING OF RESEARCH REACTOR. Analyses of material composition and thermal properties of synthesized AlMgSi-1 alloys as material for fuel element cladding of research reactor have been conducted. The analysis of material composition was performed using AAS, while thermal analysis using DTA and DSC. The results of material composition testing showed that most of the elements contained in all samples meet the fuel element cladding specification. The second sample with a composition of 0.45%Mg and 1.45%Si is closer in agreement with the specification. From the results of melting temperature and heat capacity testing, it can be seen that all samples tested conform to the fuel element cladding specification. Heat capacity testing was carried out from 50 °C to 400 °C. From all samples tested, the results indicate that increasing heating temperature will increase heat capacity value. The second sample has the highest melting temperature (659.12 °C) but the lowest heat capacity (0.58 J/kg °C) at temperature of 120 °C.

FREE TERMS: AlMgSi-1, Synthesis, Without boron, Material composition, Melting point, Heat capacity

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi elemen bakar reaktor riset ditujukan untuk mengembangkan jenis bahan bakar baru dan bahan kelongsong elemen bahan bakar. Pengembangan bahan bakar baru diarahkan untuk membuat bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi agar jumlah uranium yang dapat dimasukkan ke dalam bahan bakar tiap satuan volume lebih banyak. Mula-mula bahan bakar yang digunakan untuk reaktor RSG-GAS adalah bahan bakar jenis U_3O_8 -Al, dan selanjutnya diganti bahan bakar jenis U_3Si_2 -Al, sebelum dikembangkan bahan bakar jenis UMo. Sedangkan kelongsong yang digunakan untuk membungkus bahan bakar tersebut adalah paduan AlMg-2. Penggantian bahan bakar dari U_3O_8 -Al menjadi U_3Si_2 -Al disebabkan densitas U_3Si_2 -Al lebih tinggi daripada densitas U_3O_8 -Al ($8,41 \text{ g/cm}^3$). Sejalan dengan pengembangan bahan bakar baru tersebut, maka dikembangkan pula kelongsong bahan bakar agar lebih sesuai dengan bahan bakar yang digunakan. Pengembangan kelongsong diarahkan untuk menggunakan paduan AlMgSi-1, karena paduan AlMgSi-1 tersebut mempunyai ketahanan korosi dan kekerasan lebih baik dibandingkan paduan AlMg-2 yang saat ini digunakan^[1]. Selain faktor-faktor tersebut, paduan aluminium secara umum dipilih untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset disebabkan antara lain sifatnya yang ringan, kuat, ketahanan korosi yang baik, hantaran panas yang baik, mudah difabrikasi dan kekerasan mendekati kekerasan bahan bakar^[2]. Sifat-sifat tersebut dipengaruhi oleh komposisi bahan yang ada.

Komposisi bahan, dalam hal ini kandungan unsur penyusunnya, akan mempengaruhi sifat-sifat suatu bahan, diantaranya sifat fisik, mekanik, termal dan neutronik. Paduan AlMgSi-1 merupakan paduan aluminium dalam kelompok seri 6xxx yang banyak digunakan untuk bahan struktur berkekuatan menengah, misalnya untuk bahan konstruksi rumah, badan mobil dan jembatan. Di dalam paduan tersebut selain unsur pepadu utama yakni Mg dan Si yang berperan menaikkan kekuatan paduan, juga ditambahkan unsur boron (B) dalam bentuk TiB_2 . Penambahan unsur B pada saat peleburan dimaksudkan untuk memancing butir saat pendinginan agar terbentuk butir yang halus. Apabila butir yang terbentuk halus maka kekuatan paduan akan meningkat. Namun, kandungan unsur B yang berlebihan akan menyerap neutron di dalam reaktor sehingga harus dibatasi.

Di dalam reaktor, kelongsong elemen bakar akan menjadi panas karena terjadi reaksi fisi dari bahan bakar. Panas yang terjadi karena reaksi fisi tersebut harus segera dipindahkan ke sekeliling (air pendingin) secara cepat. Mudah tidaknya suatu bahan untuk memindahkan panas dipengaruhi oleh sifat termal dari bahan kelongsong tersebut yakni konduktivitas panasnya, sedangkan konduktivitas panas dipengaruhi oleh harga panas jenisnya. Artinya apabila suatu bahan mempunyai harga panas jenis rendah, maka bahan tersebut dengan cepat dapat memindahkan panas ke sekeliling^[3].

Oleh karena itu, percobaan ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis komposisi bahan dan termal paduan AlMgSi-1 tanpa unsur B dari hasil sintesis untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset.

II. TEORI

2.1. Komposisi Bahan

Komposisi suatu bahan akan sangat menentukan sifat-sifat dari bahan tersebut, misalnya sifat mekanik, fisik maupun termalnya. Di dalam paduan aluminium unsur-unsur yang penting ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifatnya terutama sifat mekaniknya, antara lain unsur Mg, Si, Cu, Zn, Cr, Zn, Mn, Fe, Ti dan B. Unsur-unsur tersebut dapat ditambahkan

secara tersendiri atau bersamaan. Unsur Mg di dalam paduan aluminium memperbaiki kekuatan dan keuletan pada hasil pengerjaan dingin, bahkan dapat memperbaiki ketahanan terhadap korosi dan mampu las. Unsur Mn, Cr dan Fe akan mempertahankan butir pada temperatur tinggi karena terbentuknya fasa kedua yaitu masing-masing $Al_{20}Cu_2Mn_3$, $Al_{12}Mg_2Cr$ dan $FeAl_3$ ^[1]. Terbentuknya fasa kedua tersebut akan memperlambat proses rekristalisasi sehingga mencegah butir tidak semakin membesar dan akhirnya menurunkan kekuatan paduan. Unsur Ti dan B yang ditambahkan ke dalam paduan aluminium mempunyai tujuan untuk memancing pengintian butir. Semakin banyak inti butir yang tumbuh semakin banyak butir yang terbentuk dan semakin kuat bahan tersebut. Namun, untuk industri nuklir unsur B yang ada harus dibatasi karena dikhawatirkan bila bahan tersebut digunakan di dalam reaktor unsur B yang ada akan menyerap neutron dalam jumlah besar. Hal ini disebabkan unsur B mempunyaiampang lintang serapan neutron mikroskopik yang besar yakni 759 barn^[2]. Unsur B dalam kelongsong dibatasi penggunaannya yakni kurang dari 10 ppm^[3]. Sementara itu unsur Cu sampai 0,35% dalam paduan yang berada bersama unsur Cr akan menaikkan kekuatan dan memperbaiki ketahanan korosinya^[4].

2.2. Analisis Termal

2.2.1. Temperatur Lebur

Temperatur lebur suatu bahan akan menentukan mudah tidaknya bahan tersebut melebur bila terkena panas. Aluminium dengan kemurnian tinggi mempunyai temperatur lebur lebih tinggi dibandingkan yang kemurniannya lebih rendah. Demikian pula dibandingkan dalam bentuk paduan, titik lebur paduan menurun sejalan dengan naiknya kandungan unsur pematunya sampai mencapai titik eutektiknya. Untuk bahan kelongsong elemen bakar, diharapkan mempunyai titik lebur yang tinggi agar selama digunakan tidak mudah meleleh. Untuk reaktor riset penggunaan aluminium yang mempunyai titik lebur relatif rendah (660 °C) masih memungkinkan karena reaktor riset beroperasi pada temperatur yang relatif rendah yakni sekitar 120 °C.

2.2.2. Panas Jenis

Panas jenis adalah banyaknya panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur tiap gram tiap derajat Celsius atau Kelvin. Bahan kelongsong diharapkan mempunyai harga panas jenis rendah agar secara cepat dapat memindahkan panas ke sekeliling.

Panas jenis (C_p) merupakan sifat termal yang juga berperan penting dalam operasi metalurgi pengecoran atau perlakuan panas karena menentukan jumlah panas yang dibutuhkan dalam proses. Hal ini berarti panas jenis mengendalikan kenaikan temperatur dT yang disebabkan penambahan sejumlah panas dQ terhadap satu gram logam sehingga^[5]:

$$dQ = C_p dT \quad \text{atau} \quad C_p = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Jika logam dipasok dengan energi panas, sebagian panas akan diserap oleh kisi untuk menaikkan amplitudo getaran ion, tetapi sebagian kecil akan diserap oleh elektron-elektron pada puncak lingkaran energi energi. Pengetahuan panas jenis penting untuk mengetahui struktur elektronik dan struktur kisi logam.

Menurut teori lingkaran, kontribusi faktor elektronik terhadap panas jenis adalah linier dalam temperatur, dan konstanta perbandingannya (η) diperoleh dari persamaan^[5]:

$$\eta = \frac{\pi^2 k N(E)}{T} \quad (2)$$

dimana k = konstanta Boltzman

$N(E)$ = densitas elektron pada permukaan Fermi.

Tetapi karena panas jenis total diperoleh dari persamaan^[5]:

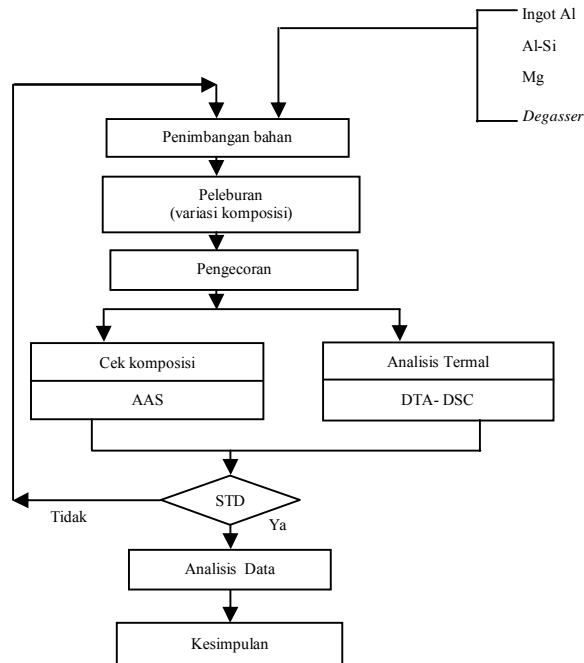
$C = C \text{ kisi} + C \text{ elektronik}$

$$C = (\text{konstanta}) T^3 - \eta T \quad (3)$$

maka persamaan kisi di atas memiliki nilai rendah hanya pada temperatur rendah.

III. TATA KERJA

Bahan baku ingot Al ditambah unsur padamu Mg dan Si (dalam bentuk Al-Si) dimasukkan ke dalam tungku lebur. Ingot Al dan Si dimasukkan terlebih dahulu kemudian setelah kedua unsur tersebut melebur dimasukkan Si. Selanjutnya ditambahkan *degasser* untuk mengusir gas dan *flux* untuk mengangkat kotoran yang ada. Setelah diperkirakan homogen, leburan dikeluarkan untuk selanjutnya dilakukan pencetakan ke dalam alat cetak yang terbuat dari baja SS-304. Hasil pencetakan dicuplik untuk kemudian dilakukan analisis komposisi menggunakan alat Spektrometer Serapan Atom (AAS) dan dianalisis termal menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA). Apabila dari uji komposisi dan termalnya ternyata memenuhi persyaratan kelongsong elemen bakar reaktor riset (Tabel 1 dan 3) maka dapat dilakukan proses lanjutan, tetapi bila tidak memenuhi persyaratan kelongsong elemen bakar maka dilakukan peleburan ulang. Diagram alir penelitian selengkapnya ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar. Tabel 1 menampilkan hasil uji komposisi hasil leburan, Tabel 2 hasil uji komposisi bahan baku dan Tabel 3 hasil uji temperatur lebur. Sementara itu, hasil uji panas jenis ditampilkan pada Gambar 2 dan Tabel 1 dalam Lampiran.

4.1. Komposisi Bahan

Dari Tabel 1 yang memuat data hasil pengujian komposisi bahan menggunakan AAS dapat dilihat bahwa sebagian besar unsur-unsur dalam sampel pertama, kedua dan ketiga masih memenuhi spesifikasi untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset, sedangkan sebagian unsur lainnya tidak. Pada sampel pertama, unsur-unsur yang memenuhi persyaratan antara lain: Si, Mn, Cr, Cu, Zn, B dan Ti. Pada sampel kedua, unsur-unsur yang memenuhi persyaratan antara lain: Si, Cr, Mn, Cu, Zn, B dan Ti sedangkan pada sampel ketiga antara lain: Mg, Mn, Cr, Cu, Zn, B dan Ti. Pada sampel pertama unsur yang tidak memenuhi persyaratan adalah 0,40% Mg dan pada sampel kedua adalah 0,45% Mg. Unsur Mg yang terdapat di dalam sampel pertama dan kedua lebih rendah dari persyaratan untuk kelongsong yakni 0,6 – 1,4%. Hal ini disebabkan unsur Mg merupakan unsur yang sangat reaktif terhadap udara sehingga pada saat proses peleburan unsur tersebut banyak menguap sebelum membentuk paduan dengan unsur pepadu lainnya. Unsur Mg bersama-sama unsur Si akan membentuk senyawa Mg_2Si yang berperan menaikkan kekuatan hasil paduan. Senyawa Mg_2Si berbentuk endapan halus yang dihasilkan melalui proses penuaan (*age hardening*) dalam perbandingan antara Mg:Si = 1:1,73^[6]. Untuk unsur Fe yang ada, ketiga sampel sedikit melebihi spesifikasi sebagai kelongsong elemen bakar (tertinggi 0,665%). Keadaan ini diduga diakibatkan oleh krusibel untuk peleburan yang telah terkontaminasi unsur Fe dimana krusibel tersebut telah berulang kali digunakan untuk melebur paduan logam termasuk besi dan baja. Selain itu keberadaan unsur Fe tersebut juga dapat berasal dari bahan baku ingot Al yang ternyata mengandung unsur Fe berlebihan (0,667%) seperti tertera dalam Tabel 2. Unsur Fe mempunyai fungsi mempertahankan butir pada temperatur tinggi agar tidak membesar, karena unsur tersebut dapat membentuk fasa kedua $FeAl_3$. Fasa kedua $FeAl_3$ yang terdapat pada batas butir akan menghalangi pergerakan butir pada temperatur tinggi sehingga butir yang terbentuk tidak membesar yang dapat menurunkan kekuatan. Namun, kelebihan unsur Fe dapat menyebabkan pengerasan di tempat-tempat tertentu yang mengandung unsur Fe tinggi dan mengakibatkan korosi antar butir. Dilihat dari sisi neutroniknya yakni dari unsur yang mempunyai tampang lintang makroskopik besar yakni unsur B, ternyata tidak ditemukan adanya unsur B. Dengan demikian, sifat neutroniknya telah memenuhi spesifikasi kelongsong elemen bakar reaktor riset. Unsur-unsur lainnya yaitu Mn, Cr, Zn dan Cu masih dalam batas spesifikasi yang diijinkan sebagai bahan kelongsong elemen bakar reaktor riset. Unsur Mn dan Cr di dalam paduan telah memenuhi spesifikasi kelongsong elemen bakar reaktor riset, oleh karena itu unsur tersebut akan mampu mempertahankan butir pada temperatur tinggi karena terbentuknya fasa kedua yakni masing-masing $Al_{20}Cu_2Mn_3$ dan $Al_{12}Mg_2Cr$. Fasa tersebut akan menghalangi pertumbuhan butir selama proses rekristalisasi. Sementara itu unsur Cu yang ada (<0,3%) membentuk larutan padat dalam matriks aluminium yang dapat menambah kekuatan paduan, unsur Cd serta Co terdapat dalam jumlah sangat kecil (orde ppm) dan berasal dari bahan baku (Tabel 2) tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap kelongsong elemen bakar.

Ditinjau dari hasil analisis komposisi unsur di dalam paduan AlMgSi-1 tanpa unsur B, peleburan dengan komposisi kedua lebih mendekati spesifikasi paduan aluminium untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset.

Tabel 1. Hasil uji komposisi hasil leburan AlMgSi-1 dan spesifikasi paduan aluminium untuk kelongsong elemen bakar reaktor riset

Unsur	Terukur			Spesifikasi ^[3]
	1	2	3	
Mg (%)	0,40	0,45	0,96	0,6 – 1,4
Si (%)	1,2	1,64	0,97	0,6 – 1,6
Cr (%)	0,003	0,001	0,003	≤ 0,30
Mn (%)	0,095	0,094	0,088	≤ 10
Fe (%)	0,642	0,665	0,661	≤ 0,50
Cu (%)	0,097	0,097	0,099	≤ 0,10
Zn (%)	0,003	0,003	0,002	≤ 0,20
Ti (%)	Ttd	Ttd	Ttd	≤ 0,20
B (ppm)	Ttd	Ttd	Ttd	≤ 10
Cd (ppm)	3,32	2,83	3,1	-
Co (ppm)	21,4	19,66	17,6	-
Al	sisanya	sisanya	sisanya	sisanya

Tabel 2. Hasil analisis bahan baku

No.	Ingot Al		Al-Si
	Unsur	Kadar (%)	Kadar (%)
1.	Zn	15,837	-
2.	Cd	2,973	-
3.	Co	16,890	-
4.	Fe	0,667	-
5.	Mg	0,004	-
6.	Mn	0,094	-
7.	Cu	0,091	-
8.	Cr	0,003	-
9.	Si	-	49
10.	Al	sisanya	sisanya

4.2. Analisis Termal

4.2.1. Titik Lebur

Hasil pengukuran titik lebur ditampilkan dalam Tabel 3 dan Tabel 1 pada Lampiran. Dari Tabel 3 dan Tabel 1 pada Lampiran terlihat sampel kedua mempunyai titik lebur tertinggi

yakni sebesar 659,12 °C. Untuk bahan kelongsong diharapkan mempunyai titik lebur tinggi agar tidak cepat melebur. Titik lebur dipengaruhi oleh kandungan unsur di dalam paduan. Dari Tabel 1 yang memuat komposisi unsur terlihat sampel pertama mempunyai kandungan unsur Mg dan Si masing-masing sebesar 0,4% dan 1,2%; sampel kedua mempunyai kandungan unsur Mg dan Si masing-masing sebesar 0,45% dan 1,64%; dan sampel ketiga mempunyai kandungan unsur Mg dan Si masing-masing sebesar 0,96% dan 0,97%. Dilihat dari kandungan unsur Mg dan mengacu pada diagram fasa biner Al-Mg (pada Lampiran), kenaikan unsur Mg mengakibatkan menurunnya titik lebur paduan sampai mencapai titik eutektiknya. Paduan Al-Mg mempunyai titik eutektik pada komposisi 17,4% dan temperatur 440 °C (713 K)^[4]. Dari ketiga sampel tersebut, sampel ketiga yang mempunyai kandungan unsur Mg paling tinggi mempunyai temperatur lebur paling rendah. Selain dari diagram fasa biner Al-Mg maka harus dilihat pula dari diagram fasa biner Al-Si. Dari hasil analisis komposisi unsur Si yang ada terlihat bahwa sampel ketiga mempunyai kandungan unsur Si paling tinggi. Apabila kemudian dilihat pada diagram fasa biner Al-Si (pada Lampiran) terlihat semakin besar kandungan unsur Si akan semakin turun titik leburnya hingga mencapai titik eutektiknya. Titik eutektik paduan Al-Si terletak pada komposisi 12,5% dan temperatur 577 °C (850 K). Dengan membandingkan ketiga sampel tersebut maka komposisi ketiga akan mempunyai titik lebur yang terendah. Namun, apabila kedua diagram fasa tersebut dibandingkan maka diagram fasa Al-Si menunjukkan titik lebur lebih tinggi dibandingkan pada diagram fasa Al-Mg. Hal ini disebabkan temperatur eutektik diagram fasa Al-Si lebih tinggi dibandingkan temperatur eutektik Al-Si. Oleh karena itu hasil pengukuran titik lebur dalam percobaan ini lebih dominan kandungan Si yang ada.

Dilihat dari temperatur leburnya (mengacu pada diagram fasa Al-Si), sampel kedua mempunyai temperatur lebur yang paling tinggi dibandingkan sampel lainnya yakni 659,12 °C. Namun demikian, ketiga sampel yang diuji di atas bila dilihat dari temperatur leburnya masih memenuhi spesifikasi untuk kelongsongsong elemen bakar reaktor riset seperti tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi sifat-sifat termal elemen bakar reaktor riset^[4]

Titik lebur (°C)	Panas jenis (J/g K)
660	0,24 (pada temperatur 100 °C)

Tabel 4. Hasil pengukuran temperatur lebur

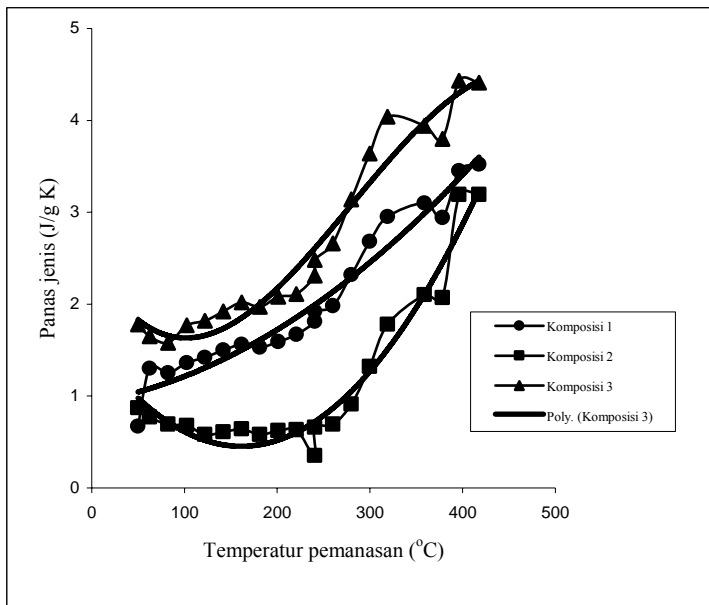
No	Sampel	Onset Temp. lebur (°C)	Top Temp. lebur (°C)	Akhir Temp. lebur (°C)
1.	AlMgSi-1	619,59	642,00	656,60
2.	AlMgSi-1	616,04	643,61	659,12
3.	AlMgSi-1	618,49	639,60	655,35

4.2.2. Panas Jenis

Hasil pengukuran panas jenis ditampilkan pada Gambar 2 dan Tabel 1 dalam Lampiran. Pada Gambar 2, kurva komposisi pertama mempunyai persamaan $y = -0,5E-01 x^2 + 0,0017 x + 0,9307$ dengan $R^2 = 0,9509$; kurva komposisi kedua mempunyai persamaan $y = -0,5E-04 x^2 - 0,0137 x + 1,5546$ dengan $R^2 = 0,9513$; dan komposisi ketiga $y = -0,7E-01 x^3 + 0,0001 x^2 - 0,0177 x + 2,4642$ dengan $R^2 = 0,9552$. Dari Gambar 2 dan Tabel 1 pada Lampiran terlihat

bahwa ketiga kurva tersebut memperlihatkan kecenderungan naiknya harga panas jenis bila temperatur pemanasan naik sampai temperatur 400 °C dan kemudian cenderung konstan. Pada pemanasan yang dilakukan dari temperatur 49,9 °C hingga 417 °C, pada temperatur 49,9 °C kurva pertama mempunyai panas jenis sebesar 0,67 J/g K; kurva kedua 0,87 J/g K dan kurva ketiga 1,78 J/g K Untuk bahan kelongsong elemen bakar, diperlukan bahan yang mempunyai harga panas jenis rendah, yakni berkisar 0,24 J/g K seperti tertera pada Tabel 3. Pada temperatur 120 °C dapat dilihat bahwa sampel pertama, kedua dan ketiga masing-masing mempunyai harga panas jenis sebesar 1,42; 0,58 dan 1,82 J/g K. Harga panas jenis tersebut dilihat pada temperatur 120 °C oleh karena reaktor beroperasi pada temperatur sekitar 120 °C. Dari harga panas jenis tersebut maka sampel kedua mempunyai panas jenis terendah. Kelongsong diharapkan memindahkan panas secara cepat agar panas yang dapat dipindahkan sebesar-besarnya. Agar kelongsong dapat memindahkan panas sebesar-besarnya maka kelongsong tersebut harus mempunyai panas jenis yang serendah-rendahnya.

Dilihat dari hasil pengujian panas jenisnya, sampel kedua lebih cocok bila digunakan untuk bahan kelongsong.



Gambar 2. Kurva hasil pengukuran panas jenis

V. KESIMPULAN

Dari beberapa pengujian sampel hasil pengecoran baik sebelum maupun setelah dipanaskan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

Dilihat dari komposisi ketiga sampel uji, hampir semua unsur telah memenuhi spesifikasi kelongsong elemen bakar. Dari tiga kali peleburan tersebut komposisi yang mendekati adalah sampel kedua.

Dilihat dari temperatur leburnya, ketiga sampel masih memenuhi spesifikasi kelongsong elemen bakar reaktor riset dimana sampel kedua mempunyai temperatur lebur

paling tinggi (659,12 °C). Bila dibandingkan dengan spesifikasi untuk kelongsong elemen bakar hampir sama yakni sebesar 660 °C.

Dilihat dari panas jenisnya ketiga sampel menunjukkan kenaikan panas jenisnya bila temperatur pemanasan naik. Dari ketiga sampel, sampel kedua mempunyai panas jenis paling rendah (0,58 J/g K) pada temperatur 120 °C.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. POLMEAR, I. J., "Light Alloy : Metallurgy of Light Alloy", John Wiley, London, 1981.
2. MASRUKAN, dan ZUHAIR, "Simulasi Pengaruh Kandungan Unsur B di dalam Kelongsong AlMg-2 dengan Bahan Bakar U_3O_8 terhadap Kritikalitas Teras Pertama RSG-GAS". Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir IV, PEBN-BATAN, 1999, hal.181-189.
3. FROST BRIAN, R.T., "Nuclear Fuel Elements", 1st ed., England, 1982.
4. BENJAMIN, M., MA, "Nuclear Materials and Applications", USA, 1983.
5. VAN DER VOORT, "Material Science and Engineering Series", McGraw-Hill, New York, 1984.
6. SMALLMAN, R.E., "Metalurgi Fisik Modern", Terjemahan Srijati Japri, Ed.4, PT. Gramedia, Jakarta, 1991.

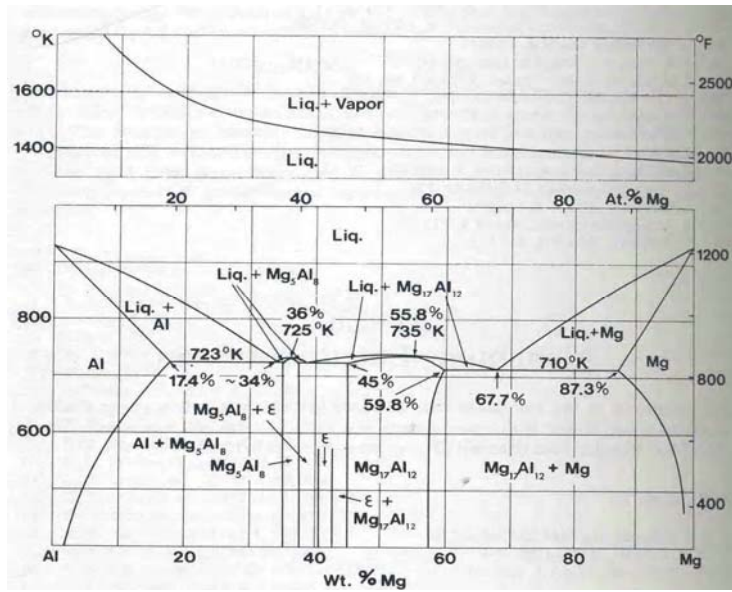
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. HASIL PENGUJIAN PANAS JENIS

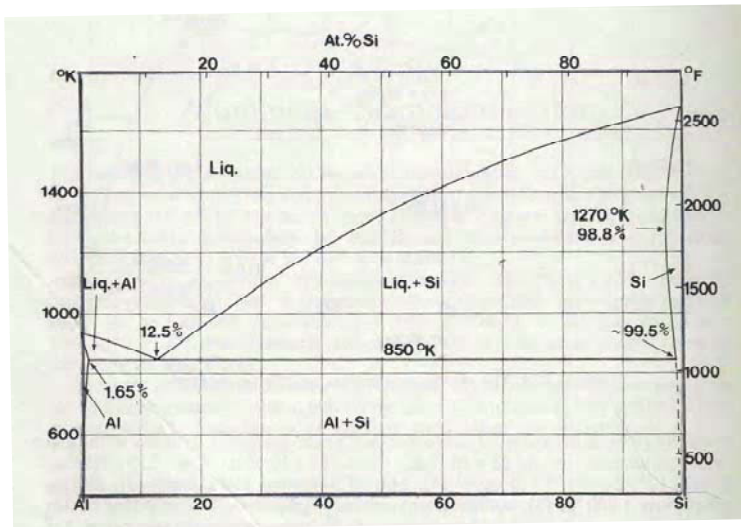
Tabel 1. Hasil pengujian panas jenis

Temp (°C)	Panas Jenis (J/g K)		
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
49,9	0,67	0,87	1,78
62,49	1,3	0,77	1,65
82,41	1,25	0,69	1,58
102,34	1,36	0,68	1,77
122,09	1,42	0,58	1,82
141,84	1,5	0,61	1,92
161,63	1,56	0,64	2,02
181,33	1,53	0,58	1,97
201,07	1,59	0,62	2,08
220,77	1,67	0,63	2,11
240,51	1,81	0,35	2,31
240,51	1,92	0,66	2,48
260,21	1,98	0,69	2,66
279,91	2,32	0,91	3,14
299,63	2,68	1,32	3,64
319,03	2,95	1,78	4,04
358,7	3,1	2,1	3,94
378,38	2,94	2,07	3,8
396,13	3,45	3,19	4,43
417,81	3,52	3,19	4,41

LAMPIRAN 2. GAMBAR DIAGRAM FASA



Gambar 1. Diagram fasa Al-Mg



Gambar 2. Diagram fasa Al-Si