

PENGARUH UNSUR Zr PADA PADUAN U-Zr DAN INTERAKSINYA DENGAN LOGAM Al TERHADAP PEMBENTUKAN FASA

Masrukan⁽¹⁾ dan Aslina Br Ginting⁽¹⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

PENGARUH UNSUR Zr PADA PADUAN U-Zr DAN INTERAKSINYA DENGAN LOGAM Al TERHADAP PEMBENTUKAN FASA. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan unsur Zr pada paduan U-Zr dan interaksinya dengan logam Al terhadap pembentukan fasa. Mula-mula paduan U-Zr dengan komposisi Zr masing-masing 2, 6, 10, 14 dan 55 % ditambah logam Al dengan perbandingan U-Zr dan logam Al sebagai satu dibanding setengah. Setelah dicampur dengan logam Al selanjutnya dikenai pengujian dengan menggunakan DTA pada interval temperatur dari temperatur kamar hingga 1000 °C. Penambahan logam Al dimaksudkan untuk mensimulasikan kondisi bahan bakar pada saat digunakan di reaktor. Adanya logam Al pada paduan U-Zr akan mengakibatkan terjadinya reaksi termokimia dan terbentuknya fasa-fasa, dimana fasa yang terbentuk akan mempengaruhi kinerja bahan bakar di dalam reaktor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui reaksi termokimia antara paduan U-Zr dengan logam Al sebagai matriks. Hasil analisis menunjukkan terjadinya pembentukan fasa dari fasa $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr pada semua komposisi, dan pada pembentukan fasa tersebut pada 55 %Zr membutuhkan panas yang paling besar dibandingkan pada 2, 6, 10, 14 % Zr. Selain itu, dapat diketahui bahwa pada U-Zr dengan kandungan Zr masing-masing 2, 6, 10 dan 14 terbentuk fasa berturut-turut α , γ Zr, β , δ , UAl_2 , γ U dan $ZrAl_2$, sedangkan pada 55 % Zr jumlah fasa yang terbentuk lebih sedikit yakni fasa α , γ Zr, β , UAl_2 , dan $ZrAl_2$. Pembentukan fasa pada 2,6,10 dan 14 % Zr berlangsung pada temperatur yang berbeda meskipun fasa yang terbentuk sama. Panas yang dibutuhkan untuk proses pembentukan fasa mengalami kenaikan apabila persen Zr naik, misalnya untuk 2 % berat Zr panas yang dibutuhkan untuk membentuk $\beta + \delta$ sebesar 0,8721 cal/g akan menjadi sebesar 3,0201 cal/g apabila konsentrasi Zr sebesar 10 % berat.

Kata kunci : Paduan U-Zr, Interaksi, logam Al dan fasa.

ABSTRACT

INFLUENCE of Zr ELEMENT AT U-Zr ALLOYS AND IT INTERACTION WITH THE Al METAL TO PHASE FORMING. Have been done research of Zr element addition influence at U-Zr alloys and its interaction with the Al metal to phase forming. Originally, U-Zr alloy with the composition of 2, 6, 10, 14 and 55 % w Zr respectively are added by Al metal with the comparison of U-Zr and Al metal as one compared to half. After the U metal are mixed with Al metal, then it physical properties tested by using DTA at temperature interval from room temperature up to 1000 °C. Addition of Al metal intended to the simulation of fuel condition at the time of used in reactor. The Al metal in U-Zr alloy will result the thermochemical reaction and phases forming, where the

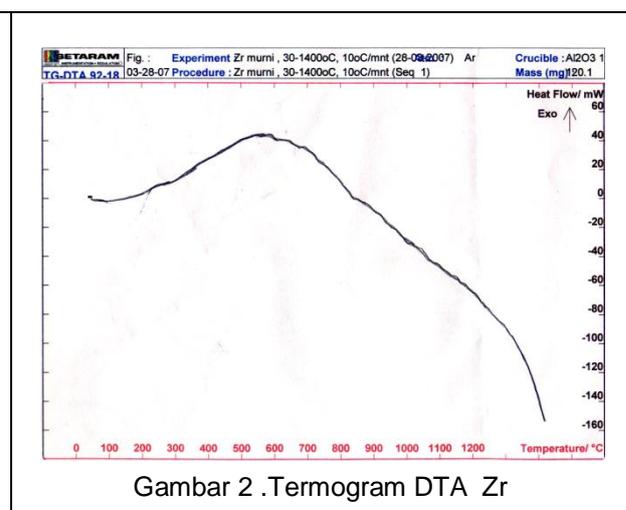
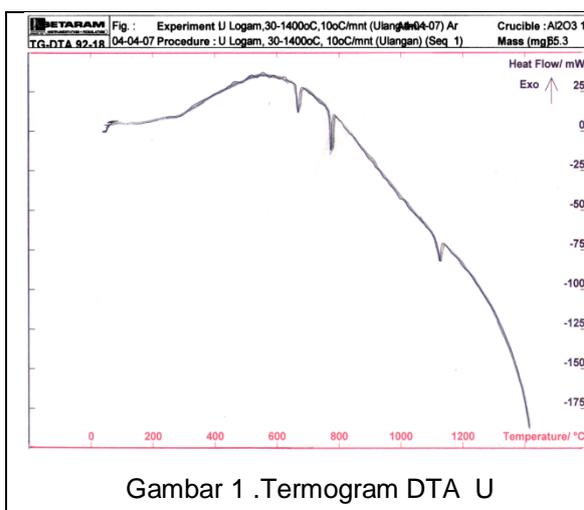
phase formed will influence the fuel performance in reactor. This research intend to know the thermochemical reaction between U-Zr alloy with the Al metal as matrix. Result of analysis show the phases forming from $\alpha + \delta$ to $\alpha + \gamma$ Zr at all of composition, and at the phase forming at 55 % Zr require the biggest heat if it compared with 2, 6, 10, 14 % weight Zr. Others, knowable that at U-Zr alloy with Zr concentration of 2, 6, 10 and 14 are pahses formed Zr α , γ Zr, β , δ , UAl_2 , γ U and $ZrAl_2$, while at 55 % w Zr the total phases formed slimmer, that are α , γ Zr, β , UAl_2 , and $ZrAl_2$. Phases forming at 2,6,10 and 14 % w Zr take place at different temperature, although the phases formed are same. The heat that is needed to phases forming process will increase if Zr percent concentration is increase, as example for 2 % w Zr the heat required to form $\beta + \delta$ is 0,8721 cal / g will become 3,0201 cal / g if Zr content equal to 10 % w Zr.

Keyword : U-Zr alloy, Interaction, Al metal and phase.

PENDAHULUAN

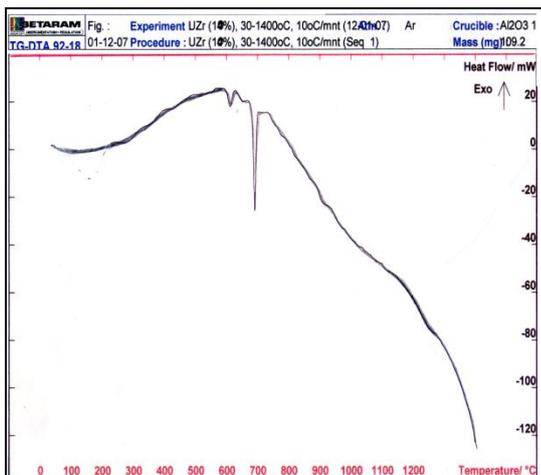
Bahan bakar reaktor riset dalam bentuk paduan U-Zr telah cukup lama digunakan sebagai bahan bakar reaktor tipe TRIGA (*Training Isotop General Atomic*). Sejak awal pengembangannya sampai saat ini telah dibuktikan bahwa bahan bakar U-Zr memiliki karakteristik yang sangat spesifik, khususnya memiliki faktor keamanan yang baik terhadap sifat reaktivitas negatif pada elevasi temperatur reaktor. Bahan bakar paduan U-Zr yang telah dikembangkan oleh General Atomic sebagai bahan bakar reaktor TRIGA (*Training Isotop General Atomic*) berupa tipe dispersi, yaitu uranium terdispersi

secara homogen sebagai logam bebas didalam zirkonium^[1]. Dalam usaha untuk mengembangkan paduan U-Zr menjadi bahan bakar pada reaktor riset sebagai bahan bakar alternatif, maka paduan U-Zr dipilih sebagai salah satu kandidat selain paduan uranium yang lain misalnya U-Mo, U-Zr-Nb dan lain-lain. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan karakterisasi termal paduan U-Zr dengan variasi kandungan Zr. Dari analisis tersebut diperoleh hasil bahwa uranium murni mengalami perubahan fasa sebanyak tiga tahap yaitu pada temperatur 667,16°C, 773,05 °C dan 1125,26 °C seperti yang terlihat pada Gambar 1.

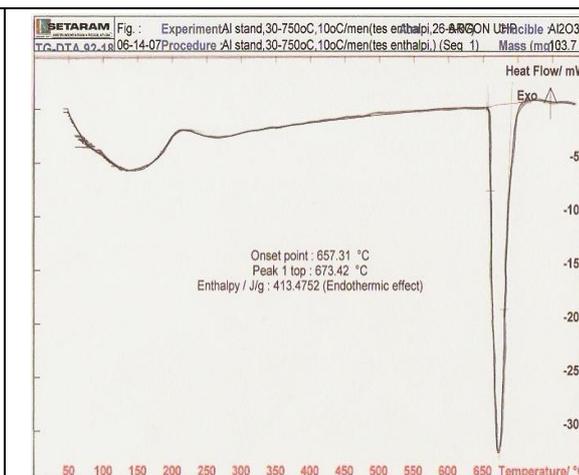


Perubahan fasa pada temperatur di atas menunjukkan terjadi perubahan fasa α menjadi fasa β pada temperatur $667,16^{\circ}\text{C}$ dengan entalpi yang dibutuhkan sebesar $2,3034\text{ cal/g}$, pada temperatur $773,05^{\circ}\text{C}$ mengalami perubahan fasa β menjadi fasa γ dengan panas yang dibutuhkan sebesar $2,8725\text{ cal/g}$ serta pada temperatur $1125,26^{\circ}\text{C}$ logam uranium tersebut mengalami peleburan menjadi cair dengan panas yang

dibutuhkan sebesar $2,1316\text{ cal/g}$. Logam Zr murni mengalami perubahan kenaikan aliran panas hingga temperatur 645°C yang menyatakan meningkatkan konduktivitas panas, namun mulai pada temperatur 700°C terjadi penurunan aliran panas yang menyebabkan terjadinya penurunan konduktivitas panas seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 3 .Termogram DTA U-Zr



Gambar 4 .Termogram DTA Al

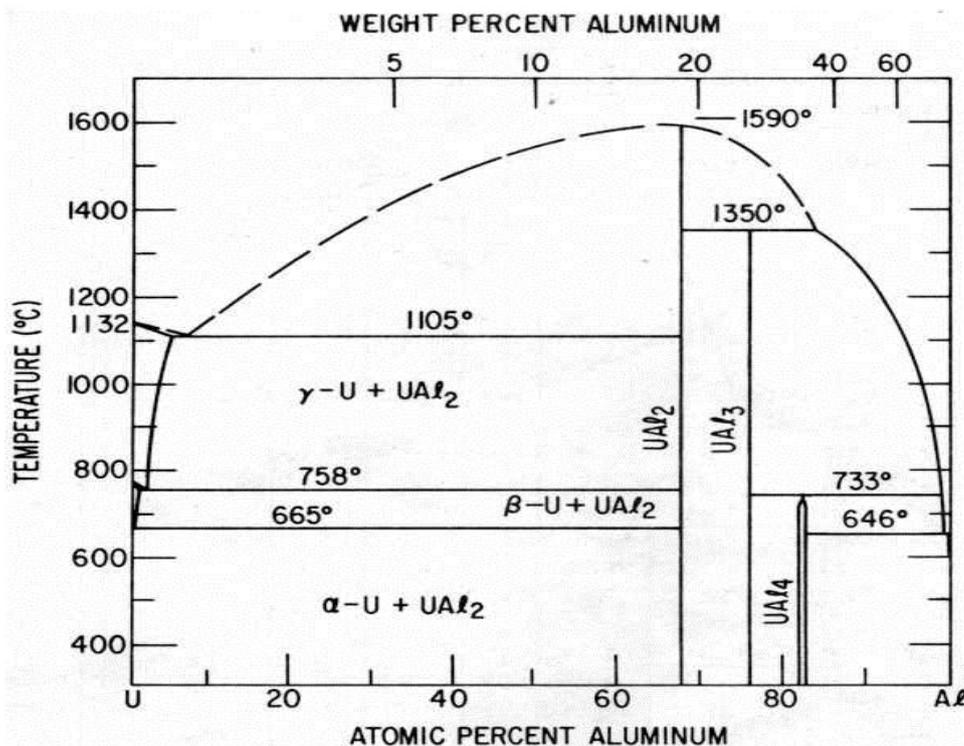
Sementara itu, hasil analisis termal terhadap logam Al 99,999%, diperoleh berupa besaran entalpi dan temperatur lebur yang ditandai dengan adanya perubahan aliran panas dengan terjadinya pembentukan puncak endotermik seperti yang terlihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa Al 99,999% sangat stabil terhadap panas sampai 650°C di atas temperatur tersebut dari termogram DTA diketahui bahwa logam Al 99,999% mengalami reaksi peleburan pada temperatur $657,31^{\circ}\text{C}$ yang ditandai dengan pembentukan reaksi endotermik dengan besar panas yang dibutuhkan sebesar $399,45\text{ J/g}$. Karakteristik termal paduan U-Zr mengalami perubahan fasa, dari α menjadi $\beta + \gamma$ Zr yang terjadi pada $677,63^{\circ}\text{C}$ hingga $695,09^{\circ}\text{C}$ dengan jumlah panas yang dibutuhkan sebesar $1,2287\text{ cal/g}$ dan pada temperatur $782,42^{\circ}\text{C}$ hingga $790,76^{\circ}\text{C}$ terjadi perubahan β menjadi $\gamma + \gamma$

Zr dengan panas yang dibutuhkan sebesar $5,3586\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$. Pada temperatur 900°C hingga 1000°C terjadi perubahan aliran panas yang menunjukkan terjadinya perubahan fasa menjadi γ (γU) hingga mengalami proses peleburan hingga paduan mencair pada temperatur $1165,29^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $1189,58^{\circ}\text{C}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

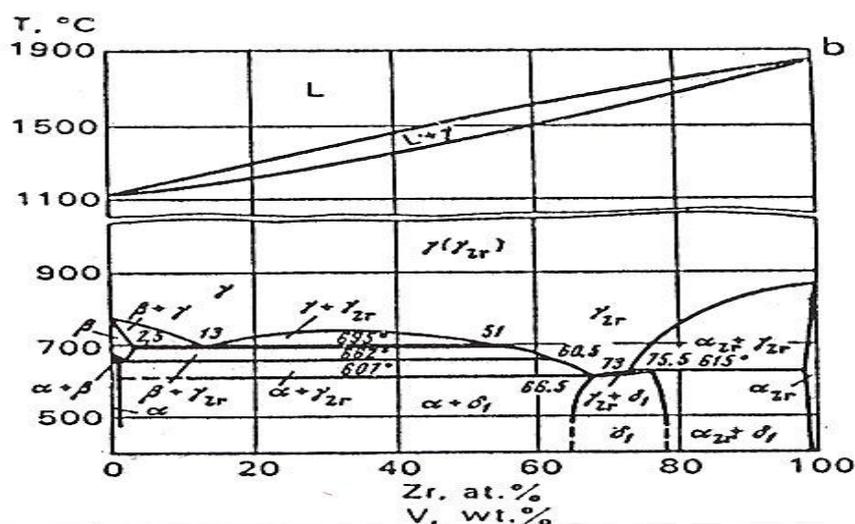
Berdasarkan hasil analisis di atas maka untuk selanjutnya dilakukan analisis interaksi paduan U-Zr dengan komposisi Zr bervariasi dengan logam aluminium sebagai matrik. Analisis interaksi paduan U-Zr dengan matrik Al sangat penting dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya reaksi termokimia pada paduan tersebut. Pemberian matrik Al sebagai dimaksudkan untuk mensimulasi keadaan bahan bakar sesungguhnya, dimana paduan U-Zr bila digunakan

sebagai bahan bakar ditambah dengan logam Al untuk mengungkung terben-tuknya produk fisi. Dari fenomena reaksi termokimia dapat diketahui kompatibilitas panas paduan U-Zr dengan Al sebagai matriks. Pada temperatur tertentu akan terjadi reaksi termokimia pada uranium zirkonium dengan matrik aluminium dan diduga menyebabkan terbentuknya senyawa baru^[3]. Adanya senyawa baru didukung oleh diagram fasa U-Zr, diagram fasa U-Al, dan diagram fasa Al-Zr seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7. Perubahan karakter paduan tersebut serta terjadinya pembentukan

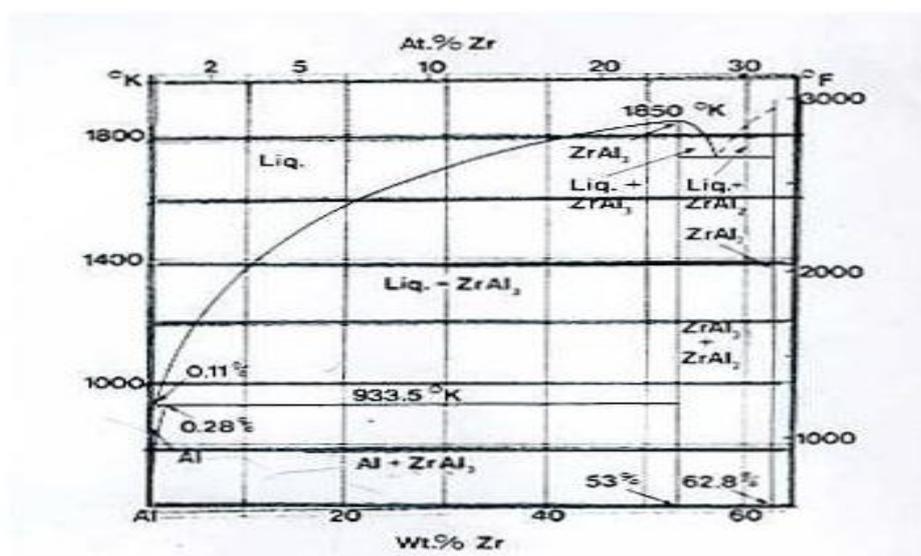
senyawa baru akan mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar di dalam reaktor yaitu terjadi penggelembungan bahan bakar karena meningkatnya produk fisi. Oleh karena itu dipandang perlu untuk melakukan penelitian lanjutan tentang interaksi paduan U-Zr dengan matrik Al dengan variasi kandungan Zr, serta menganalisis senyawa-senyawa yang terbentuk akibat reaksi termokimia tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan kepada fabrikasi bahan bakar reaktor riset untuk memahami karakter bahan dalam mendesain bahan bakar jenis U-Zr-Al.



Gambar 5. Diagram fasa paduan uranium dan aluminium ^[2]



Gambar 6. Diagram fasa paduan uranium dan zirkonium [2]



Gambar 7. Diagram fasa paduan aluminium dan zirkonium [3]

TATA KERJA

Disiapkan sampel paduan U-Zr-Al dengan kandungan 2%, 6%, 10% 14% dan 55% berat Zr atau U-2Zr, U-6Zr, U-10Zr, U-14Zr dan U-55Zr. Paduan U-2Zr ditimbang sebesar 100 mg kemudian dimasukkan ke dalam wadah dan ditambahkan serbuk Al 99,99% sebesar 50 mg. Selanjutnya, paduan U-2Zr-Al dimasukkan ke dalam krusibel alumina untuk divakumkan hingga tekanan 10^{-1} bar di dalam *chamber* DTA *rod*. Setelah tercapai kondisi vakum, *chamber* DTA *rod*

dialiri gas argon dengan tekanan 2,5 bar. Analisis dilakukan pada temperatur ruangan hingga mencapai temperatur 1000°C dengan kecepatan pemanasan 10 °C/menit dalam tiga kali pengulangan pengukuran. Langkah pengukuran yang dilakukan terhadap bahan bakar U-2Zr-Al di atas, dilakukan juga terhadap masing-masing bahan bakar U-6Zr-Al, U-10Zr-Al, U-14Zr-Al dan U-55Zr-Al. Hasil analisis DTA berupa termogram puncak endotermik atau eksotermik berupa aliran panas dievaluasi dengan temperatur mulai terbentuknya puncak tersebut dan luas puncak

yang terbentuk menunjukkan besarnya entalpi yang dibutuhkan atau dilepaskan oleh bahan bakar tersebut. Sedangkan senyawa baru yang terbentuk akibat interaksi U-Zr dengan Al dianalisis berdasarkan adanya perubahan aliran panas (*heat flow*) dan pembentukan puncak eksotermik maupun endotermik yang dikorelasikan dengan diagram fasa U-Zr-Al.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian DTA ditampilkan dalam Gambar 8 hingga 12 dan Tabel 1. Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa paduan U-2Zr-Al mengalami enam langkah fenomena reaksi termokimia. Pada puncak nomor satu (1) dapat diketahui bahwa paduan U-2Zr-Al mengalami perubahan fasa dari $\alpha + \delta$ pada temperatur 544,3°C menjadi $\alpha + \gamma$ Zr. Pada temperatur 659,09 °C hingga 670,60 °C yang ditunjukkan pada puncak nomor dua (2) terjadi peleburan matrik Al dengan membutuhkan panas sebesar 22,3354 cal/g. Terjadinya peleburan matrik Al ditandai dengan pembentukan puncak endotermik pada temperatur tersebut. Pada temperatur 691,82 °C, puncak nomor tiga (3) terjadi interaksi antara lelehan matrik Al dengan U-2Zr membentuk senyawa $\beta + \delta$. Pembentukan senyawa $\beta + \delta$ relatif kecil karena kandungan Zr didalam paduan U-Zr-Al hanya sebesar 2%, sehingga konsentrasi Zr terlalu sedikit untuk berinteraksi dengan U-Zr-Al membentuk senyawa $\beta + \delta$. Dari temperatur 692,92 °C hingga 708,92°C, pada puncak nomor empat (4) terjadi reaksi termokimia eksotermik yang menunjukkan terjadinya pembentukan senyawa UAl_2 , $\beta + \gamma$ Zr dengan melepaskan panas sebesar -5,6734 cal/g. Reaksi eksotermik ini berlanjut hingga temperatur 734,39°C hingga 745,06 °C dengan melepaskan panas sebesar -2,3157 cal/g untuk membentuk $UAl_2 + \gamma$ Zr dan $ZrAl_2$ seperti yang terlihat pada puncak nomor lima (5). Pada temperatur 801,71°C hingga 830,75 °C seperti yang ditunjukkan pada puncak keenam (6) terjadi pembentukan senyawa γ U

+ UAl_2 dengan melepaskan panas sebesar -1,2785 cal/g.

Pada analisis interaksi U-6Zr dengan matrik Al seperti tertuang pada Gambar 9 Tabel 1 diketahui bahwa paduan U-6Zr-Al mengalami lima (5) langkah fenomena reaksi termokimia. Pada puncak nomor satu (1) dapat diketahui bahwa paduan U-6Zr-Al pada temperatur 570,47 °C mengalami perubahan fasa dari $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr yang ditandai dengan adanya perubahan aliran panas. Pada temperatur 659,09 °C hingga 670,60 °C yang ditunjukkan pada puncak nomor dua (2) terjadi peleburan matrik Al dengan membutuhkan panas sebesar 22,4955 cal/g. Peleburan matrik Al ditandai dengan pembentukan puncak endotermik pada temperatur tersebut. Panas peleburan matrik Al pada paduan U-2Zr dan U-6Zr tidak jauh berbeda yakni masing-masing sekitar 22,3354 cal/gr dan 22,4955 cal/g. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah matrik Al yang berreaksi dalam paduan U-Zr sama besar. Pada temperatur 696,03 °C hingga 703,50 °C, pada puncak nomor tiga (3) terjadi interaksi lelehan matrik Al dengan U-Zr membentuk senyawa $\beta + \delta$ UZr, UAl_2 dan $\beta + \gamma$ Zr dengan panas yang dibutuhkan sebesar 4,5193 cal/g. Pada temperatur 740,72 °C hingga 752,12 °C terjadi pembentukan senyawa $UAl_2 + \gamma$ Zr, $ZrAl_2$ dengan mengeluarkan panas sebesar -0,2772 cal/g seperti yang terjadi pada puncak nomor empat (4), sedangkan pada temperatur 789,52 °C hingga 7594,14 °C pada puncak nomor lima (5) terjadi pembentukan senyawa γ U + UAl_2 dengan mengeluarkan panas sebesar -0,2752 cal/g.

Analisis selanjutnya yakni paduan U-10Zr seperti ditampilkan pada Gambar 10 dan Tabel 1, dapat diketahui bahwa paduan U-10Zr-Al mengalami enam (6) langkah fenomena reaksi termokimia. Pada puncak nomor satu (1) dapat diketahui bahwa paduan U-10Zr-Al mengalami perubahan fasa dari $\alpha + \delta$ pada temperatur 587,01 °C hingga 606,62 °C menjadi $\alpha + \gamma$ Zr dengan membutuhkan panas sebesar 0,958 cal/g. Perubahan fasa

$\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr pada paduan U-10Zr-Al terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan paduan U-2Zr-Al dan U-6Zr-Al. Hal ini terlihat dari adanya besaran entalpi yang terjadi pada paduan U-10Zr-Al. Pada temperatur 660,65 °C hingga 672,26 °C yang ditunjukkan pada puncak nomor dua (2) terjadi peleburan matrik Al dengan membutuhkan panas sebesar 22,9123 cal/g. Terjadinya peleburan matrik Al ditandai dengan pembentukan puncak endotermik pada temperatur tersebut. Pada temperatur 695,37 °C hingga 702,71 °C pada puncak nomor tiga (3) terjadi interaksi lelehan matrik Al dengan U-Zr membentuk senyawa $\beta + \delta$ dengan besar panas yang dibutuhkan sebesar 3,0201 cal/g. Pembentukan senyawa $\beta + \delta$ pada paduan U-10Zr-Al relatif lebih besar bila dibandingkan dengan yang terjadi pada paduan U-2Zr-Al dan U-6Zr-Al. Hal ini disebabkan karena kandungan Zr di dalam paduan U-10Zr-Al lebih besar dibandingkan didalam paduan U-2Zr-Al dan U-6Zr-Al, sehingga konsentrasi Zr cukup berinteraksi dengan U-Zr-Al membentuk senyawa $\beta + \delta$. Pada temperatur 734,36 °C hingga 742,88 °C, pada puncak nomor empat (4) terlihat fenomena reaksi termokimia eksotermik yang menunjukkan terjadinya pembentukan senyawa $\beta + \gamma$ Zr dan UAl_2 dengan melepaskan panas sebesar -1,8789 cal/g. Reaksi eksotermik ini berlanjut hingga temperatur 765,45 °C hingga 775,11 °C dengan melepaskan panas sebesar -17,3614 cal/g untuk membentuk γ U + γ Zr, $\beta + UAl_2$ dan $ZrAl_2$ seperti yang terlihat pada puncak nomor lima (5). Pada temperatur 807,66 °C hingga 812,60 °C seperti yang ditunjukkan pada puncak nomor enam (6) terjadi pembentukan senyawa γ U, UAl_2 dan $ZrAl_2$ dengan melepaskan panas sebesar -1,112 cal/g.

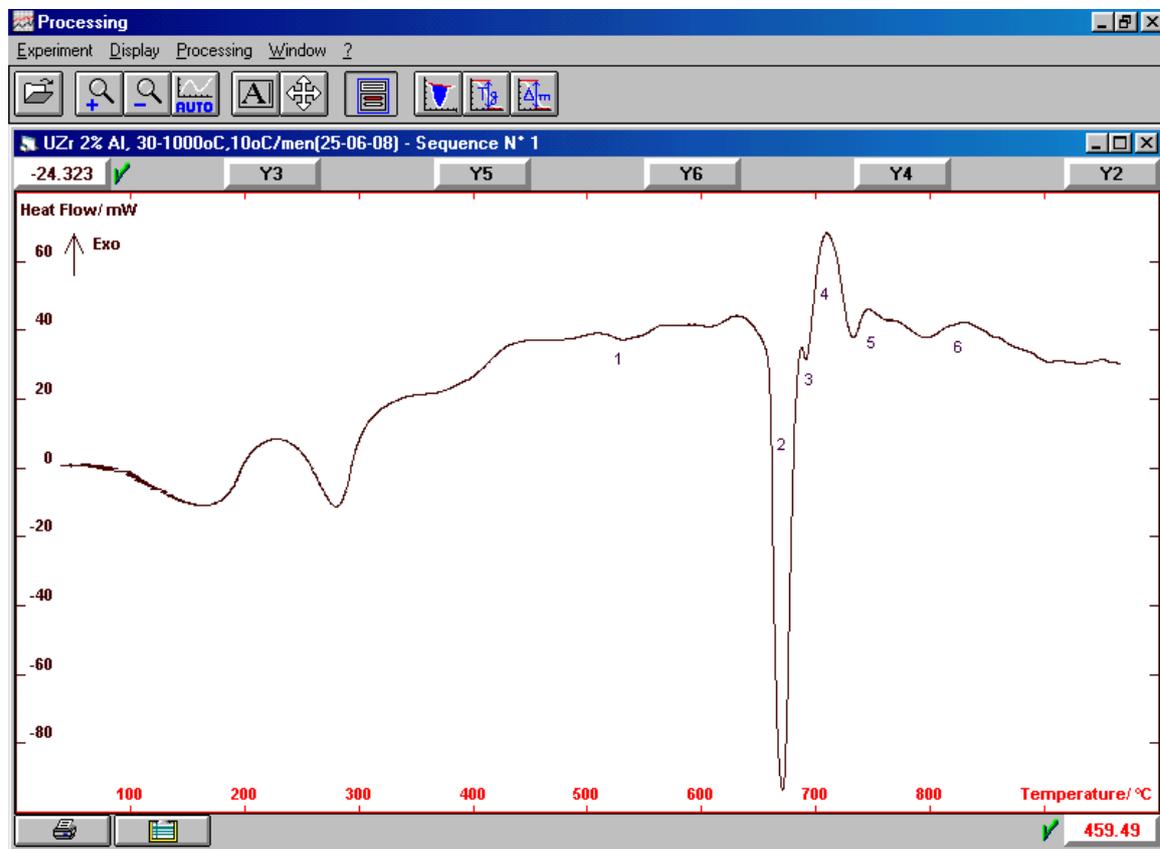
Untuk paduan U-14Zr-Al seperti ditampilkan pada Gambar 11, mengalami enam (6) langkah fenomena reaksi termokimia. Pada puncak nomor satu (1) dapat diketahui bahwa paduan U-14Zr-Al mengalami perubahan fasa dari $\alpha + \delta$ pada temperatur 597,28 °C hingga 611,59 °C menjadi $\alpha + \gamma$ Zr

dengan membutuhkan panas sebesar 0,9824 cal/g. Perubahan fasa dari $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr pada paduan U-14Zr-Al terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan paduan U-10Zr-Al. Hal ini terlihat dari adanya besaran entalpi yang terjadi pada paduan U-14Zr-Al lebih besar dari paduan U-10Zr-Al. Pada temperatur 659,88 °C hingga 670,02 °C seperti yang ditunjukkan pada puncak nomor dua (2), terjadi peleburan matrik Al dengan membutuhkan panas sebesar 22,4376 cal/g. Peleburan matrik Al ditandai dengan pembentukan puncak endotermik pada puncak nomor dua (2). Pada temperatur 692,71 °C hingga 697,62 °C pada puncak nomor tiga (3) terjadi interaksi lelehan matrik Al dengan U-Zr membentuk senyawa $\beta + \delta$ dengan besar panas yang dibutuhkan sebesar 4,4246 cal/g. Pembentukan senyawa $\beta + \delta$ pada paduan U-14Zr-Al relatif lebih besar bila dibandingkan dengan yang terjadi pada paduan U-10-Zr-Al. Hal ini disebabkan kandungan Zr di dalam paduan U-14Zr-Al lebih besar dibandingkan didalam paduan U-10Zr-Al. Pada temperatur 702,71 °C hingga 717,39 °C, pada puncak nomor empat (4) dan lima (5) terlihat fenomena reaksi termokimia eksotermik sebanyak dua tahap yang menunjukkan terjadinya pembentukan senyawa γ U + γ Zr, $\beta + UAl_2$ dan $ZrAl_2$ dengan mengeluarkan panas sebesar -16,3566 cal/g. Sedangkan pada temperatur 791,99 °C hingga 797,45 °C terjadi pembentukan senyawa γ U + UAl_2 dan $ZrAl_2$ dengan mengeluarkan panas sebesar -0,3925 cal/g seperti yang terlihat pada puncak nomor enam (6) pada Gambar 11.

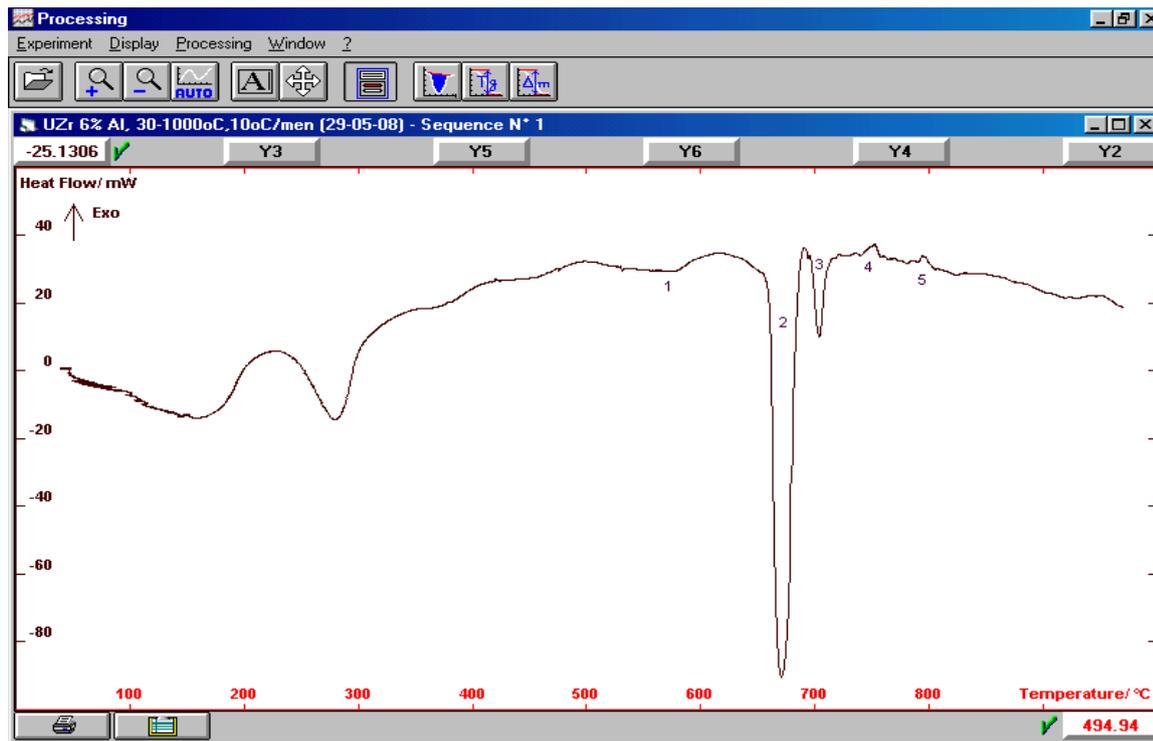
Sementara itu, interaksi U-55Zr-Al hanya terjadi tiga tahap seperti yang ditunjukkan pada Gambar . Pada puncak nomor satu (1) dapat diketahui bahwa paduan U-55Zr-Al mengalami perubahan fasa dari $\alpha + \delta$ pada temperatur 606,52 °C hingga 621,35 °C menjadi $\alpha + \gamma$ Zr dengan membutuhkan panas sebesar 6,1804 cal/g. Perubahan fasa $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr pada paduan U-55Zr-Al terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan paduan U-2Zr-Al, U-6Zr-Al, U-10Zr-Al dan U-14Zr-Al.

Hal ini terlihat dari entalpi yang terjadi pada paduan U-55Zr-Al sebesar 6,1804 cal/g lebih besar dari entalpi yang terjadi pada U-10Zr-Al dan U-14Zr-Al masing-masing sebesar 0,958 cal/g dan 0,9824 cal/g. Keadaan ini disebabkan kandungan Zr di dalam paduan U-55Zr-Al cukup besar sehingga perubahan fasa $\alpha + \gamma\text{Zr}$ yang terjadi juga semakin besar. Pada temperatur 659,19 °C hingga 669,72 °C yang ditunjukkan pada puncak nomor dua (2)

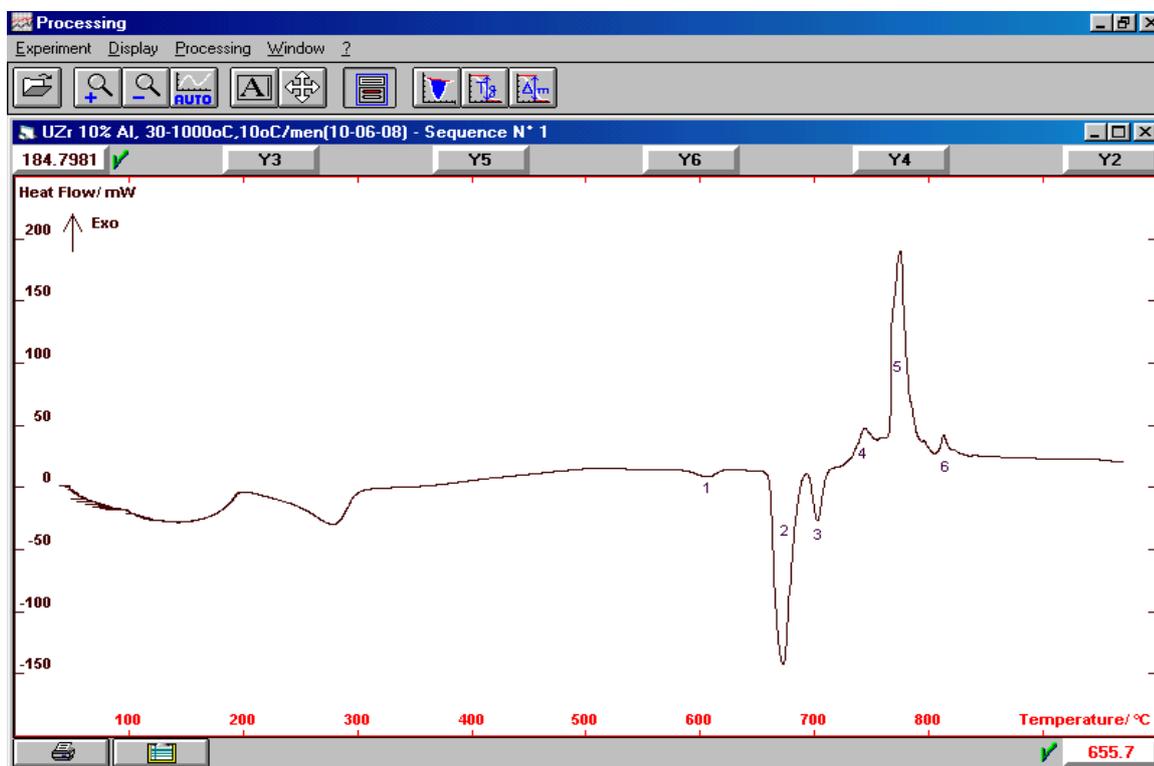
terjadi peleburan matrik Al dengan membutuhkan panas sebesar 22,9386 cal/g. Pada temperatur 792,23 °C hingga 824,35 °C pada puncak nomor tiga (3) terjadi interaksi lelehan matrik Al dengan U-Zr membentuk senyawa $\text{UAl}_2 + \text{ZrAl}_2$ dan γZr dengan mengeluarkan panas sebesar -9,0158 cal/g. Pembentukan senyawa $\text{UAl}_2 + \text{ZrAl}_2$ dan γZr pada paduan U-55Zr-Al terjadi lebih besar karena kandungan Zr terdapat lebih besar.



Gambar 8 .Termogram DTA interaksi paduan U-2Zr – Al
Kurva temperatur terhadap aliran panas



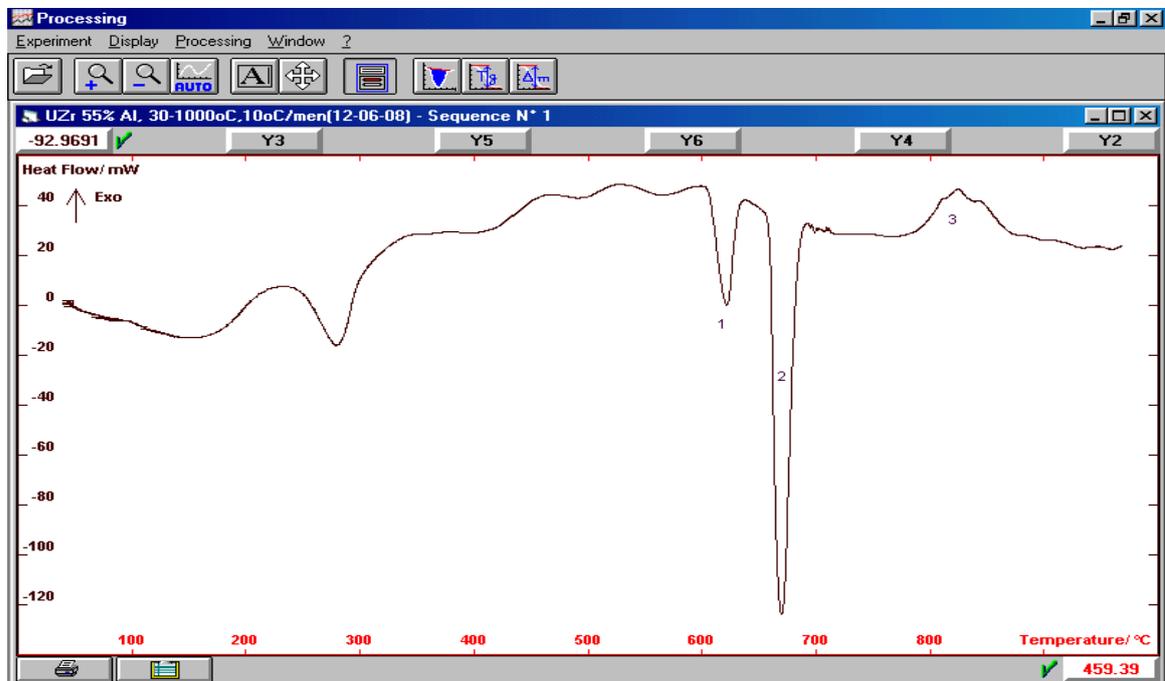
Gambar 9 .Termogram DTA interaksi paduan U-6Zr-Al
Kurva temperatur terhadap aliran panas



Gambar 10 .Termogram DTA interaksi paduan U-10Zr-Al
Kurva temperatur terhadap aliran panas



Gambar 11 .Termogram DTA interaksi paduan U-14Zr-Al
Kurva temperatur terhadap aliran panas



Gambar 12 .Termogram DTA interaksi paduan U-55Zr- Al
Kurva temperatur terhadap aliran panas

Tabel 1. Temperatur perubahan fasa dan entalpi paduan U-Zr-Al

Paduan	Puncak	Temperatur (°C)	Entalpi (cal/g)	Fasa
U-2Zr-Al	1	544,3	-	Perubahan α , δ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr
	2	659,09 - 670,60	22,3354	Matrik Al meleleh
	3	691,82-693,71	0,8721	Pembentukan $\beta + \delta$ (<<)
	4	692,92 – 708,92	-5,6734	Pembentukan UAl_2 , $\beta + \gamma$ Zr
	5	734,39 – 745,06	-2,3157	Pembentukan $UAl_2 + \gamma Zr$, $ZrAl_2$
	6	801,71- 830,75	-1,2785	Pembentukan $\gamma U + UAl_2$
U-6Zr-Al	1	570,47	-	Perubahan α , δ UZr menjadi $\alpha + \gamma$ Zr
	2	659,89 – 670,62	22,4955	Matrik Al meleleh
	3	696,03 – 703,50	4,5193	Pembentukan $\beta + \delta$ dan UAl_2 , $\beta + \gamma$ Zr
	4	740,72 – 752,12	- 0,2772	Pembentukan $UAl_2 + \gamma Zr$, $ZrAl_2$
	5	789,52 – 794,14	-0,2752	Pembentukan $\gamma U + UAl_2$
U-10Zr-Al	1	587,01 – 606,62	0,958	Perubahan α , δ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr
	2	660,65 – 672,26	22,9123	Matrik Al meleleh
	3	695,37 – 702,71	3,0201	Pembentukan $\beta + \delta$ UZr
	4	734,36 – 742,88	- 1,8789	Pembentukan $\beta + \gamma$ Zr dan UAl_2 ,
	5	765,45 – 775,11	-17,3614	Pembentukan $\gamma U + \gamma Zr$, $\beta + UAl_2$, $ZrAl_2$
	6	807,66 – 812,60	-1,112	Pembentukan $\gamma U + UAl_2 + ZrAl_2$
U-14Zr-Al	1	597,28 – 611,59	0,9824	Perubahan α , δ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr
	2	659,88 – 670,02	22,4376	Matrik Al meleleh
	3	* 702,71 –	4,4246	Pembentukan $\beta + \delta$
	4	717,39	-16,3566	*Pembentukan $\gamma U + \gamma Zr$, $\beta + UAl_2$,
	5	* 702,71 –		$ZrAl_2$ (terjadi dua puncak reaksi)
	6	717,39	-0,3925	Pembentukan $\gamma U + UAl_2 + ZrAl_2$
		791,99 – 797,45		
U-55Zr-Al	1	606,52 – 621,35	6,1804	Perubahan α , δ menjadi $\alpha + \gamma$ Zr
	2	659,19 – 669,72	22,9386	Matrik Al meleleh
	3	792,23 – 824,35	- 9,0158	Pembentukan $UAl_2 + ZrAl_2$ dan γZr

SIMPULAN

Interaksi U-Zr dengan matrik Al akan menghasilkan beberapa fasa, dan fasa yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh besarnya kandungan Zr. Pembentukan fasa $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$ terjadi di semua komposisi Zr, dan pada komposisi 55 % Zr membutuhkan panas yang paling besar dibandingkan pada komposisi 2, 6, 10 dan 14 % Zr. Pada U-Zr dengan kandungan Zr masing-masing 2, 6, 10 dan 14 % terbentuk fasa-fasa α , γ Zr, β ,

δ , UAl_2 , γU dan $ZrAl_2$, sedangkan pada 55 % Zr terbentuk jenis fasa lebih sedikit yakni fasa α , γ Zr, β , UAl_2 , dan $ZrAl_2$. Pembentukan fasa pada 2,6,10 dan 14 % berat Zr terjadi pada temperature yang berbeda meskipun fasa yang terbentuk sama. Panas yang dibutuhkan untuk proses pembentukan fasa mengalami kenaikan seiring dengan naiknya persen Zr. Pada konsentrasi 2 % Zr panas yang dibutuhkan untuk membentuk $\beta + \delta$ sebesar 0,8721 cal/g akan menjadi sebesar 3,0201 cal/g apabila kandungan Zr

sebesar 10 %. Demikian untuk persen Zr yang lain menunjukkan kecenderungan yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUWARNO H ,” Pembuatan Dan Analisis Logam Hidrida Paduan U-Th-Zr Untuk Pengembangan Bahan Bakar Baru”, P2TBDU - BATAN, Puspiptek Serpong Tangerang, 2005.
2. OS.IVANOV,TA.BADAEVA,RM.SOFRONOVA,VB.KISHENEVSKII,” *Phase Diagrams of Uranium Alloys*”, Amerind Publishing Co.Ltd,New York1983.
3. MONDOLFO, ” Aluminum Alloys: *“Structur and Properties”*, Butterworths, London – Boston,1976.
4. ALBERT R.KAUFMANN,” *Nuclear Reactor Fuel Element*” Metalurgi and Fabrication, USA,1962.