

## PENGARUH UNSUR Nb PADA BAHAN BAKAR PADUAN UzrNb TERHADAP DENSITAS, KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR

Masrukan<sup>(1)</sup>, Tri Yulianto<sup>(1)</sup> dan Sungkono<sup>(1)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

Email: Masrukan2006@yahoo.com

### ABSTRAK

**PENGARUH UNSUR Nb PADA BAHAN BAKAR PADUAN UzrNb TERHADAP DENSITAS, KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR.** Penelitian pengaruh unsur Nb pada bahan bakar UzrNb terhadap densitas, kekerasan dan mikrostruktur telah dilakukan. Pengembangan teknologi bahan bakar dilakukan guna mendapatkan bahan bakar maju yang mempunyai pengkayaan rendah dan densitas tinggi. Salah satu paduan uranium yang dikembangkan yakni padua UzrNb. Pembuatan paduan UzrNb dilakukan dengan cara memadukan logam U, Zr dan Nb melalui teknik peleburan dalam tungku peleburan busur listrik. Dalam percobaan ini dibuat paduan UzrNb dengan memvariasikan Nb pada kandungan Nb 1%, 4% dan 7% sedangkan logam Zr dibuat tetap 10 %. Paduan UzrNb hasil peleburan selanjutnya dipotong-potong untuk dikenai pengujian diantaranya uji densitas, kekerasan dan mikrostruktur yang terbentuk. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat autopiknometer, kekerasan dengan menggunakan kekerasan mikro sedangkan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa nilai densitas akan menurun bila kandungan Nb semakin bertambah, sedangkan dari pengujian kekerasan menunjukkan pada penambahan unsur Nb yang semakin besar mengakibatkan nilai kekerasan menjadi semakin bertambah. Sementara itu, pada pemeriksaan mikrostruktur terlihat bahwa pada penambahan Nb yang semakin besar akan terbentuk struktur butir yang semakin kasar tetapi jumlah fasa kedua semakin bertambah. Pehnelitian ini berujuan untuk mempelajari densitas, kekerasan dan mikrostruktur yang terjadi sebagai akibat dari penambahan unsur Nb ke dalam bahan bakar paduan Uzr.

**Kata kunci :** Unsur Nb, bahan bakar UzrNb, densitas, kekerasan dan mikrostruktur.

### ABSTRACT

**Nb ELEMENT INFLUENTS AT THE FUEL ALLOY TO THE UzrNb DENSITY, HARDNESS AND MICROSTRUKTURE.** Study on effect of Nb element on the UzrNb fuel element to density, hardness and microstructure have been carried out. Fuel technology development done in order to obtain advanced fuels that have the enrichment of low and high density. One of uranium alloys developed the alloy UzrNb. Making UzrNb alloy metal is done by integrating the U, Zr and Nb through fusion techniques in electric arc furnace. In these experiments made by varying the alloy UzrNb Nb on Nb content of 1%, 4% and 7%, while the metal remains the 10% Zr. UzrNb alloy melting results then cut to be subject to such testing density test, hardness and microstructures are formed. Density testing is done by using autopiknometer tools, microhardness with microharness tester while the microstructure using optical microscope. Density test results show that the value will

*decrease as the density of the Nb content increases, whereas the hardness test showed that the addition of Nb element the greater the resulting value becomes increasingly violent. Meanwhile, the microstructural examination showed that the addition of the larger Nb will form an increasingly coarse grain structure but the amount of second phase increased. This research aim to study the density, hardness and microstructure resulting from the addition of Nb element into the UZrNb alloy.*

**Keyword :** Nb element, UZrNb fuels, density, hardness and microstructure.

## PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi bahan bakar reaktor riset di dunia saat ini ditujukan untuk mendapatkan bahan bakar maju dengan kandungan uranium pengkayaan rendah (LEU) guna menggantikan bahan bakar dengan kandungan uranium pengkayaan tinggi (HEU). Untuk mempertahankan fluks neutron di dalam teras reaktor riset, maka dibutuhkan bahan bakar LEU berdensitas tinggi agar jumlah U yang dapat dimuatkan ke dalam bahan bakar per satuan volume menjadi lebih banyak. Reaktor riset G.A. Siwabessy di Serpong menggunakan bahan bakar LEU jenis  $U_3Si_2$ -Al yang mempunyai densitas lebih tinggi dibandingkan  $U_3O_8$ -Al. Kelemahan penggunaan  $U_3Si_2$ -Al adalah kesulitan dalam pemisahan unsur Si saat pemungutan kembali uranium dari gagal dan limbah produksi  $U_3Si_2$ -Al. Untuk mengatasi permasalahan tersebut Pusat Teknolog Bahan Bakar Nuklir (PTBN) sedang mengembangkan beberapa bahan bakar diantaranya paduan UZr, UZrNb, UMo,UMoTi, dan UN. Pada penelitian ini dikembangkan salah satu bahan bakar maju yakni paduan UZrNb. Tujuan penelitian adalah mendapatkan paduan UZrNb-Al yang mempunyai densitas tinggi, sifat mekanik, dan mikrostruktur yang memenuhi spesifikasi bahan bakar reaktor riset. Metoda penelitian yang digunakan untuk membuat bahan bakar UZrNb-Al tipe dispersi adalah dengan memadukan logam U, Zr dan Nb yang didispersikan di dalam matriks Al, unsur Zr tetap 10 persen berat dan Nb divariasi dalam

rentang 1-7 persen berat menggunakan teknik peleburan.

Masrukan dkk telah melakukan penelitian pendahuluan pembuatan paduan UZr dengan komposisi Zr pada rentang 2 – 55% berat. Paduan tersebut diperlakukan panas pada temperatur 600-700°C dengan waktu penahanan 4 jam. Dari hasil penelitian tersebut diketahui paduan UZr yang mempunyai sifat fisis, mekanik, dan korosi terbaik adalah U-10% Zr <sup>[1]</sup>. Penambahan logam 1,5 % berat Nb ke dalam paduan U-5% Zr dapat di *quenching* untuk mendapatkan struktur alpha yang mempunyai ketahanan korosi cukup baik, bahkan pada penambahan Nb lebih tinggi lagi yakni mencapai 7% berat dapat membentuk fasa gamma <sup>[2]</sup>. Pada kondisi fasa gamma, laju korosi umum sangat rendah dan pada kondisi gamma paduan UZrNb berada dalam keadaan stabil<sup>[3]</sup>. Penambahan unsur Nb ke dalam paduan UZr dilakukan melalui pemaduan tiga unsur dan diduga dapat memperbaiki sifat paduan seperti sifat fisis, mekanik, dan mikrostruktur yang terbentuk tanpa mengurangi nilai ekonomi neutron.

## TEORI

### 1. Pengaruh unsur pepadu pada logam U dan paduan UZrNb

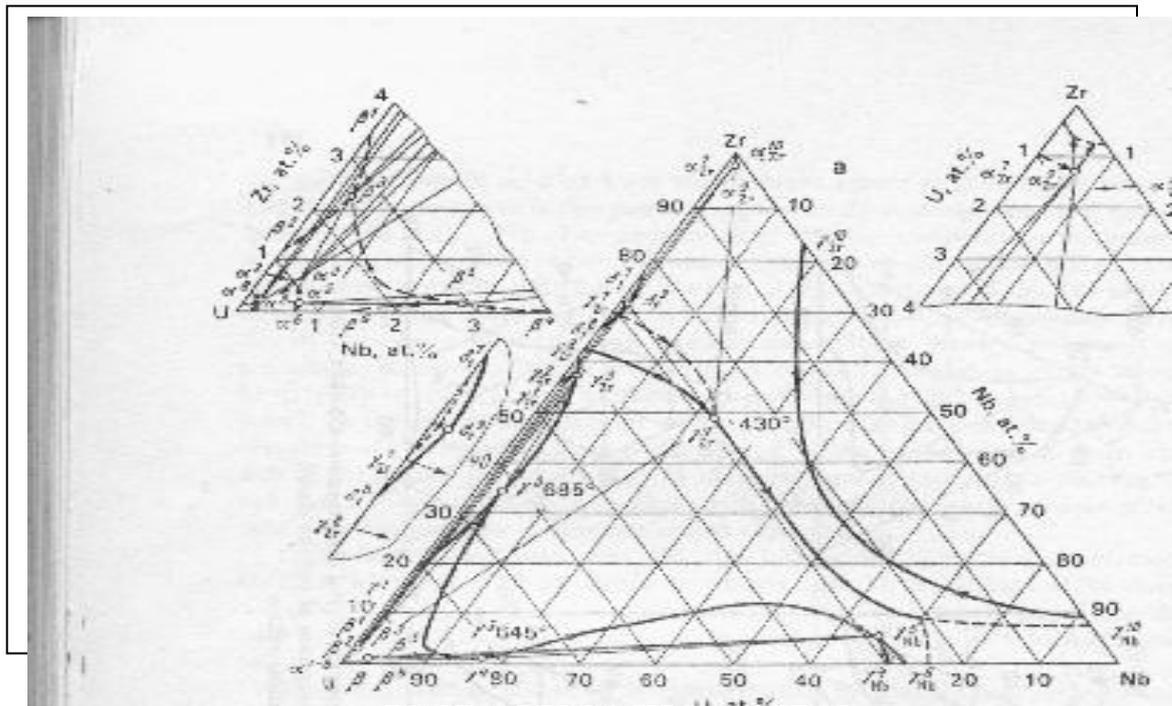
Logam U mempunyai sifat-sifat yang terbatas, sehingga perlu ditambah dengan unsur atau logam pepadu. Beberapa unsur di dalam sistem berkala dapat dipadukan dengan logam uranium. Penambahan unsur pepadu ke

dalam logam murni dengan tujuan antara lain sebagai berikut :<sup>[2]</sup>

- Mendapatkan ukuran butir yang halus,
- Menaikkan sifat mekanik,
- Sifat-sifat logam murninya sehingga mudah difabrikasi dengan logam lain,
- Menaikkan ketahanan terhadap bahaya radiasi,
- Mempertahankan fasa beta atau gamma U pada temperatur kamar,
- Melarutkan U yang diperkaya,
- Menahan lapisan difusi U dengan material kelongsong,
- Membuat elemen bakar tipe dispersi secara teknik langsung atau membuat elemen bakar dispersi dengan teknik metalurgi serbuk
- Menaikkan mampu cor (*castability*) bahan bakar hasil cor.

Unsur- unsur yang biasa ditambahkan ke dalam logam U dengan tujuan mempertahankan fasa  $\beta$ U pada temperatur kamar adalah : V, Nb, Cr, Mo, Mn, Ir, Pt, Al, Si, sedangkan unsur-unsur Nb, Mo, Zr dapat ditambahkan ke dalam logam U untuk mempertahankan fasa  $\gamma$ . Sementara itu, beberapa unsur pemadu yang dapat memberikan efek racun *thermal* adalah unsur Zr (2% w), Si (0,87% w), Al (0,46 %w), Nb (0,36 %w), Mo (0,15 %w), Cr (0,064 %w), V (0,041 %w) dan Ti (0,031 %w).<sup>[3]</sup>

Dalam paduan UZrNb, sistim akan membentuk keseimbangan tiga unsur (*ternary system*) U, Zr dan Nb yang terdiri dari keseimbangan *eutectoid* tiga fasa. Pada temperature 685 °C terjadi keseimbangan eutectoid tiga fasa dengan persamaan reaksi :  $\beta^{3-5} \leftrightarrow (\alpha^{3-5} + \gamma^{3-5})$ . Pada temperatur yang relatif rendah (430 °C) sistem membentuk keseimbangan  $(\gamma^7\text{Zr} + \alpha^7\text{Zr} \leftrightarrow \delta^7)$ <sup>[4]</sup>. Diagram fasa ternary U,Zr dan Nb dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



## 2. Kekerasan

Kekuatan/kekerasan suatu logam atau paduan merupakan ukuran ketahanan suatu logam terhadap deformasi plastis. Kekuatan/kekerasan suatu paduan logam dipengaruhi oleh jumlah unsur pemuat yang ditambahkan, dimana logam yang ditambahkan akan membentuk fasa kedua atau larutan padat. Fasa kedua dapat terbentuk apabila batas kelarutan suatu unsur terhadap unsur lain terlampaui. Unsur yang terlarut padat tersebut dapat meningkatkan kekuatan/kekerasan disebabkan timbulnya tegangan di sekitar larutan padat, sedangkan fasa kedua yang terjadi akan menghambat gerak dislokasi sehingga dislokasi semakin sulit bergerak. Apabila dislokasi semakin sulit bergerak maka paduan logam semakin keras. Kekuatan/kekerasan suatu material juga dipengaruhi oleh struktur fasa Kristal. Material yang mempunyai struktur kristal *face center cubic* (fcc) mempunyai bidang *slip* yang lebih banyak dibandingkan material yang mempunyai struktur kristal *body center cubic* (bcc). Oleh karena itu, material yang mempunyai struktur *fcc* lebih lunak dibandingkan material yang mempunyai struktur *bcc*.

## 3. Mikrostruktur

Mikrostruktur suatu logam atau paduan menggambarkan bentuk butir, fasa, inklusi maupun porositas. Bentuk butir hasil pengecoran biasanya berbentuk laminar disertai *dendrite*, sedangkan pada hasil coran yang telah mengalami pemanasan (homogenisasi) terjadi perubahan bentuk butir yang mengarah ke bentuk *equiaxial*. Pada bentuk laminar atau *dendrite*, logam atau paduannya biasanya mempunyai sifat keras dan rapuh, sedangkan pada logam atau paduan logam yang telah dihomogenisasi mempunyai sifat lunak dan ulet. Mikrostruktur logam atau paduan logam juga dipengaruhi oleh penambahan unsur pemuat yang dapat

membentuk fasa. Semakin banyak unsur pemuat yang ditambahkan maka semakin banyak fasa yang terbentuk. Fasa yang terbentuk dapat berupa larutan padat atau sebagai fasa kedua. Bertambahnya kedua fasa tersebut mengakibatkan sifat mekanik (dalam hal ini kekerasan) paduan logam semakin keras.

## TATA KERJA

Dibuat paduan UZrNb yang mempunyai kandungan Nb bervariasi yakni 1%, 4% dan 7%. Mula-mula dilakukan pengepresan serbuk Nb sehingga membentuk pelat berukuran lebih kurang 100 mm x 50 mm x 2 mm, selanjutnya dipotong-potong menjadi berukuran lebih kurang 2 mm x 2 mm x 2 mm. Logam U yang berbentuk serpihan dipotong-potong sehingga menjadi berukuran lebih kurang 10 mm x 5 mm x 2 mm, dan logam Zr (berbentuk *sponge*) dipotong-potong sehingga menjadi berukuran lebih kurang 2 mm x 2 mm x 2 mm. Bahan baku yang telah dipotong-potong tersebut selanjutnya ditimbang sesuai dengan komposisi yang direncanakan yaitu masing-masing untuk logam U 90% berat, Zr sebesar 10 % berat dan logam Nb divariasikan masing-masing sebesar 1%, 4 % serta 7% berat. Bahan baku logam U, Zr dan Nb yang telah sesuai dengan komposisinya, dimasukkan ke dalam tungku peleburan kemudian dilebur. Proses peleburan dilakukan pada arus 90 A dan setiap sampel memerlukan total waktu peleburan selama 16 menit. Hasil peleburan berupa ingot diotong-potong untuk diuji sifat mekanik (dalam hal ini kekerasan), fisik (densitas) dan mikrostruktur ingot. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat Auto piknometer dalam media gas Helium. Untuk dapat dilakukan pengujian kekerasan maupun mikrostruktur, potongan ingot UZrNb dihaluskan dengan menggunakan mesin gerinda dengan ampelas dari *grit* 240 hingga 1500 serta diteruskan dengan pemolisian. Sampel yang telah halus diuji kekerasannya

dengan menggunakan alat uji kekerasan Vickers. Sampel yang telah diuji kekerasan selanjutnya dihaluskan lagi dan dietsa dengan menggunakan campuran yang terdiri dari larutan. Sampel yang telah dietsa diperiksa mikrostruktur yang terbentuk dengan menggunakan mikroskop optic dan hasil pengambilan gambar (foto micrograph) dihitung ukuran butir yang terbentuk menggunakan cara Heyn.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar. Pada Tabel 1 ditampilkan data hasil pengujian fisik (densitas), sifat mekanik (kekeraan) pada Tabel 2, Ukuran diameter butir pada Tabel 3 dan mikrostruktur ditampilkan pada Gambar 1 hingga 3.

Dari Tabel 1 yang memuat hasil pengujian densitas U10%Zr1%Nb, U10%Zr4%Nb dan

U10%Zr7%Nb terlihat bahwa nilai densitas akan menurun bila kandungan Nb semakin bertambah. Densitas UZrNb pada kandungan 1% Nb adalah sebesar 15,60 g/cc akan menurun menjadi 15,26 g/cc pada kandungan Nb sebesar 4% dan menjadi 14,60 g/cc bila kandungan Nb menjadi 7%. Hal ini disebabkan oleh nilai densitas Nb murni yang lebih rendah dibandingkan densitas logam U murni. Densitas U murni berkisar 19 g/cc sedangkan Nb sebesar 8.57 g/cc<sup>[4]</sup>. Oleh karena nilai densitas Nb lebih rendah dibandingkan dengan densitas logam U murni sehingga pada penambahan Nb yang semakin besar berarti akan menurunkan jumlah U dan berakibat semakin menurunnya densitas UZrNb yang terjadi. Nilai densitas UZrNb tersebut lebih rendah apabila dibandingkan dengan paduan U10%Zr tanpa penambahan unsur Nb, dimana densitas U10%Zr adalah sebesar 16,9118 g/cc<sup>[1]</sup>.

Tabel 1. Hasil pengujian densitas UZrNb

Sampel	Deviasi (%)	Volume rata-rata (cc)	Volume standar (cc)	Densitas standar (g/cc)	Variasi koefisien (%)	Densitas (g/cc)
U10%Zr1%Nb	0,0080	2,3588	0,0002	0,0014	0,0090	15,60
U10%Zr4%Nb	0,721	1,1509	0,0009	0,00116	0,0759	15,26
U10%Zr7%Nb	0,2457	3,8647	0,0119	0,0447	0,3074	14,60

Dari Tabel 2 yang menampilkan nilai kekerasan UZrNb dapat dilihat bahwa penambahan unsur Nb yang semakin besar mengakibatkan nilai kekerasan menjadi semakin rendah. Kekerasan mikro U-10%Zr1% Nb, U10%Zr4%Nb dan U10%Zr7%Nb masing-masing sebesar 294, 295, dan 208 HVN. Bertambah rendahnya nilai kekerasan paduan UZrNb tersebut disebabkan adanya unsur Nb yang semakin bertambah, dimana unsur Nb tersebut dapat membentuk larutan padat atau fasa kedua. Jumlah Nb yang semakin besar akan menambah jumlah larutan padat Nb dan fasa kedua. Apabila larutan padat semakin banyak maka tegangan antara unsur Nb dengan

sekelilingnya akan semakin tinggi. Pada keadaan tegangan yang semakin tinggi tersebut mengakibatkan kekerasan semakin tinggi. Namun, penambahan unsur Nb juga akan menaikkan jumlah fasa kedua dalam bentuk fasa  $\delta_1$  yang mempunyai struktur kristal heksagonal. Struktur kristal heksagonal merupakan struktur kristal yang mudah slip, sehingga paduan menjadi semakin lunak<sup>[5]</sup>. Dari kedua fenomena tersebut, fenomena kedua yakni struktur kristal fasa kedua  $\delta_1$  lebih dominan sehingga kekerasan paduan UZrNb semakin rendah.

Tabel 2. Nilai kekerasan paduan UZrNb

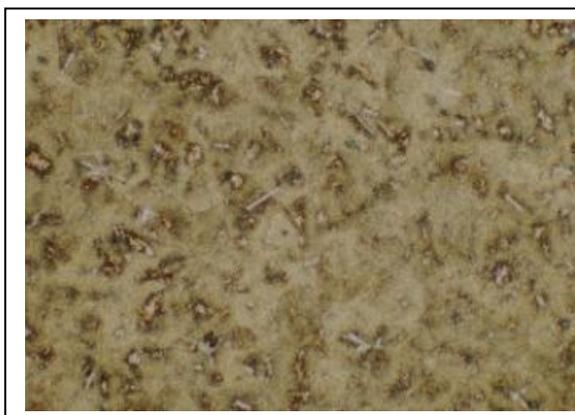
No	Item	Kekerasan (VHN)
1	U10%Zr1%Nb	294
2	U10%Zr4%Nb	295
3	U10%Zr7%Nb	208

Pada pemeriksaan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik dapat dilihat bahwa pada penambahan Nb yang semakin besar akan terbentuk struktur butir yang semakin kasar (membesar) tetapi jumlah fasa kedua semakin bertambah banyak. Dari pengukuran butir dengan menggunakan cara Heyn diperoleh ukuran butir untuk paduan U10%Zr1%Nb, U10%Zr4%Nb dan U10%Zr7%Nb masing-masing mempunyai ukuran diameter butir 10,4  $\mu\text{m}$ , 16,3  $\mu\text{m}$  dan 21,5  $\mu\text{m}$  seperti tertera pada Tabel 3. Hal ini dimungkinkan karena pada peleburan UZrNb, penambahan logam Nb selain mempercepat pengintian dan pertumbuhan butir juga menambah jumlah fasa kedua.

Apabila dikaitkan dengan sifat mekaniknya (dalam hal ini kekerasan), peristiwa pertumbuhan butir mengakibatkan butir menjadi lebih besar dan berakibat mudahnya gerakan dislokasi sehingga kekerasan paduan UZrNb semakin rendah. Selain itu penambahan unsur Nb mengakibatkan jumlah fasa kedua  $\delta_1$  semakin besar yang memungkinkan mudahnya terjadi slip sehingga kekerasan menjadi menurun. Namun, di satu pihak bertambahnya unsur Nb juga menyebabkan larutan padat dan fasa kedua semakin banyak. Bertambahnya larutan padat dan fasa kedua akan menaikkan kekerasan paduan UZrNb. Dari kedua fenomena tersebut, fenomena bertambah besarnya ukuran butir dan bertambah banyaknya fasa kedua  $\delta_1$  yang mudah slip lebih dominan sehingga kekerasan paduan UZrNb semakin rendah apabila jumlah logam Nb bertambah.

Tabel 3. Hasil perhitungan ukuran butir

No	Item	Ukuran butir rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
1	U10%Zr1%Nb	10,4
2	U10%Zr4%Nb	16,3
3	U10%Zr7%Nb	21,5



12,5  $\mu\text{m}$

Gambar 1. Mikrostruktur U10%Zr1%Nb



12,5  $\mu\text{m}$

Gambar 2. Mikrostruktur U10%Zr4%Nb



12,5 m

Gambar 3. Mikrostruktur U-10%Zr-7%Nb

### SIMPULAN

Dari percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut :

Hasil pengujian densitas U10%Zr1%Nb, U10%Zr4%Nb dan U10%Zr7%Nb terlihat bahwa nilai densitas akan menurun bila kandungan Nb semakin bertambah. Densitas UZrNb pada kandungan 1% Nb adalah sebesar 15,60 g/cc akan menurun menjadi 15,26 g/cc pada kandungan Nb sebesar 4% dan menjadi 14,60 g/cc bila kandungan Nb menjadi 7%. Hasil pengujian kekerasan UZrNb dapat dilihat bahwa penambahan unsur Nb yang semakin besar mengakibatkan nilai kekerasan menjadi semakin berkurang. Kekerasan mikro U10%Zr1% Nb, U10%Zr4%Nb dan U10%Zr7%Nb masing-masing sebesar 294 HVN, 295 HVN, dan 208 HVN. Pada penambahan Nb yang semakin besar akan membentuk struktur butir yang semakin kasar dan jumlah fasa kedua

semakin bertambah. Ukuran diameter butir masing-masing untuk paduan U10%Zr1%Nb, U10%Zr4%Nb dan U10%Zr7%Nb adalah sebesar 10,4  $\mu\text{m}$ , 16,3  $\mu\text{m}$  dan 21,5  $\mu\text{m}$ .

### DAFTAR PUSTAKA

1. MASRUKAN, SUGONDO, SLAMET P, YATNO D.A, GUSWARDANI, " Prosiding Laporan Teknis PTBN 2008", Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, 2009.
2. KAUFMANN A , " *Nuclear Reactor Fuel Elements*", Metallurgy And Fabrication, U S Atomic Energy Commission. New York. Interscience Publisers, Jhon Wiley and Sons, 1972.
3. IVANOV O S.. " *Phase Diagrams of Uranium Alloys*. New Delhi : Amerind Publishing Co, PVT, 1983.
4. FROST B.R. T," *Nuclear Fuel Elemen*", . Design Fabrication and Perfor mance. New York : Pergamon Press. 1982.
5. SMALLMAN, "Metalurgi Fisik Modern" Srijati Djapri, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 1991, edisi keempat.