

## KARAKTERISTIK ZIRKALOY-2 HASIL PELEBURAN SPONGE ZIRKONIUM MENGGUNAKAN TUNGKU INDUKSI.

Saeful Hidayat, Guntur D.S, Ridwan .S., Kusmantri, Budi.D.  
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

KARAKTERISTIK ZIRKALOY-2 HASIL PELEBURAN SPONGE ZIRKONIUM MENGGUNAKAN TUNGKU INDUKSI. Telah dilakukan pemaduan dengan bahan dasar zirkonium sponge untuk mendapatkan paduan zirkaloy-2. Pemaduan dilakukan dengan cara peleburan menggunakan tungku induksi dengan mengalirkan gas pelindung Argon selama peleburan berlangsung. Peleburan untuk proses pemaduan dapat dicapai pada temperatur sekitar 1900 °C, sehingga peleburan hanya dapat dilakukan dengan menggunakan krusibel grafit. Kesempurnaan peleburan dengan kapasitas peleburan sebesar 100 gram dicapai dengan membuat potongan sponge zirkonium di bawah 10 mm. Penggunaan persentase berat maksimum unsur pepadu sesuai spesifikasi pada saat pemaduan, menghasilkan persentase unsur pepadu dalam batas spesifikasi pada bahan hasil peleburan. Struktur mikro yang terbentuk pada bahan hasil peleburan adalah struktur "Basket Wave", "Dendrit" dan struktur "Alpha", dengan kekerasan bahan 266 HV pada struktur "Basket Wave", 458 HV pada struktur "Dendrit" dan 356 HV pada struktur "Alpha".

### ABSTRACT

THE CHARACTERISTIC OF ZIRKALOY-2 FROM SMELTING ZIRCONIUM SPONGE BY INDUCTION FURNACE. Alloying Zirconium sponge to form Zircaloy-2 has been conducted. Alloying process was obtained by employing the Induction Furnace during which the protective gas Argon was flowed. Alloying process was conducted at temperature around 1900 °C, therefore graphite crucible was used for this purpose. The thorough melting of 100 g sponge could be achieved by cutting zirconium sponge into pieces with a thickness less than 10 mm. Allong element concentrations were in accordance with the upper limits of Zircaloy-2 composition tolerance, and the resulted ingot was within the specification. Microstructures of the ingot consisted of Basket wave structure with the hardness of 266 HV, Dendritic structure 458 HV and Alpha structure 356 HV.

### PENDAHULUAN

Zirkaloy-2 sebagai bahan struktur Elemen Bakar Nuklir pada Reaktor Daya jenis BWR, adalah bahan strategis yang mahal dan sukar didapat. Untuk mendukung teknologi nuklir di Indonesia, diperlukan penelitian yang mengarah pada pembuatan bahan tersebut, sehingga diharapkan kita tidak bergantung pada negara lain dalam penyediaan bahan-bahan untuk keperluan tersebut.

Zirkaloy-2 adalah logam paduan antara unsur dasar Zirkonium dengan beberapa unsur pepadu, yaitu Sn, Fe, Cr dan Ni, dengan spesifikasi persentase berat unsur pepadu sebagai berikut :

Zirkonium sebagai bahan dasar zirkaloy-2 merupakan bahan yang tidak mudah untuk dilebur dengan hasil yang memuaskan, karena sifatnya yang reaktif, mempunyai titik lebur yang tinggi (di atas 1850 °C) dan sangat sensitif terhadap kontaminan pada saat peleburan [3].

Tabel 1. Persentase berat unsur pepadu Zirkaloy-2 berdasarkan spesifikasi [1,2].

Unsur pepadu	% berat
Sn	1,20 - 1,70
Fe	0,07 - 0,20
Cr	0,05 - 0,15
Ni	0,03 - 0,08

Spesifikasi yang disyaratkan untuk bahan struktur reaktor sangat ketat, terutama terhadap kandungan unsur pengotor yang akan mempengaruhi sifat logam tersebut pada perlakuan selanjutnya dan pada saat pemakaian di reaktor [3].

Untuk dapat membuat paduan zirkaloy-2 yang memenuhi syarat spesifikasi dengan melihat sifat bahan zirkonium tersebut di atas,

perlu pemahaman proses pemaduan terhadap bahan yang dihasilkan. Dengan melakukan penelitian proses pemaduan, diharapkan dapat mengetahui pengaruh perlakuan dan variabel proses terhadap bahan yang dihasilkan.

#### BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA

Bahan dan alat yang dipergunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### Bahan

Sponge zirkonium, serbuk Sn, Cr, Fe, Ni, gas argon kemurnian tinggi, bahan kimia untuk metalografi, film negatif, kertas film, krusibel kuarsa, alumina dan grafit

##### Alat

Tungku remelt frekuensi tinggi Lifumat-Met 3,3 Vac., timbangan mikro, peralatan metalografi, mikroskop optik, SEM/EDAX, XRF.

##### Tata kerja

Untuk menentukan berat bahan yang akan dipadu, perlu perhitungan berat setiap bahan yang akan dipadu. Perhitungan dilakukan berdasarkan persentase berat bahan yang akan dipadu dari jumlah berat keseluruhan. Berat keseluruhan bahan untuk setiap proses pemaduan sebanyak 100 gram, sesuai kapasitas tungku. Untuk penimbangan berat bahan digunakan timbangan mikro, sehingga persentase berat bahan dapat ditimbang sebaik mungkin. Bahan yang akan dilebur pada saat proses pemaduan disusun secara berlapis di dalam krusibel, yaitu dengan menempatkan unsur padu diantara tumpukan sponge zirkonium.

Peleburan dilakukan pada tungku induksi dengan kondisi atmosfer tungku menggunakan gas pelindung argon kemurnian tinggi. Sebelum proses peleburan, dilakukan pemvakuman ruang tungku untuk membersihkannya dari atmosfer luar. Kemudian dialirkan gas argon dengan laju alir sebesar 1,5 liter per menit. Pengaturan daya frekuensi untuk mencapai titik lebur, dilakukan pada saat proses peleburan berjalan, sehingga peleburan dapat dicapai dalam satu kali proses.

Hasil peleburan dianalisis persentase jumlah unsur padunya dengan menggunakan XRF, EDAX dan Carbon Determinator. Kemudian dilakukan metalografi untuk melihat struktur mikro yang terbentuk, dan uji kekerasan Vickers untuk melihat sifat mekanis bahan.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN.

Peleburan untuk proses pemaduan pada penelitian ini dapat dicapai pada temperatur sekitar 1900 °C, dan lamanya waktu pencapaian titik lebur sekitar 10 menit. Dengan tingginya temperatur peleburan dan relatif cepatnya laju kenaikan temperatur peleburan, terjadi keretakan pada krusibel alumina sebelum titik lebur dicapai, sehingga untuk menghindari lelehan logam cair keluar dari krusibel, peleburan dicoba menggunakan krusibel grafit.

Dengan menggunakan krusibel grafit, keretakan sebelum dan sesudah temperatur lebur tercapai, tidak terjadi, tetapi terjadi pelelehan pada krusibel kuarsa setelah temperatur lebur tercapai. Hal ini disebabkan panas logam cair tidak terserap oleh dinding krusibel grafit, sehingga melelehkan krusibel kuarsa. Untuk menanggulangi hal tersebut, dilakukan peleburan dengan menggunakan dua lapis krusibel, yaitu dengan memasukkan krusibel grafit sebagai tempat peleburan pada krusibel alumina sebagai penahan panas.

Kesempurnaan peleburan menggunakan tungku induksi pada penelitian ini dapat dicapai dengan ukuran potongan sponge zirkonium dibawah 10 mm, dengan jumlah bahan yang dilebur di bawah 100 gram. Dengan ukuran ini, besarnya rongga antara potongan zirkonium sponge relatif kecil, sehingga arus induksi yang lewat bahan akan maksimal untuk mencapai temperatur peleburan.

Persentase berat bahan yang akan dipadu untuk setiap proses peleburan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Persentase berat unsur bahan pada proses peleburan.

Unsur paduan	% berat
Sn	1,70
Fe	0,20
Cr	0,15
Ni	0,08
Zr	sisanya

Dari hasil peleburan dengan menggunakan persen berat setiap unsur sesuai Tabel 2 di atas, dengan berat keseluruhan bahan yang dilebur sebesar 80 gram, didapat persen berat

komposisi unsur paduan pada bahan hasil peleburan sebagai berikut :

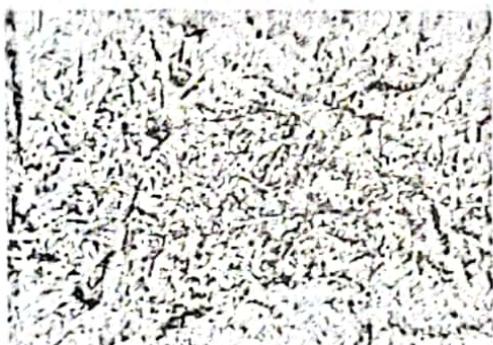
Tabel 3. Persentase berat unsur paduan hasil pemeriksaan XRF.

Unsur paduan	% berat
Sn	1,40
Fe	0,20
Cr	0,09
Ni	0,04
Zr	sisanya

Bila dilihat dari spesifikasi komposisi persen berat unsur paduan untuk Zirkaloy-2, persen komposisi bahan hasil peleburan pada Tabel 3 memenuhi syarat spesifikasi.

Dari hasil pengujian Carbon Determinator, diperoleh kandungan karbon sebesar 1946,54 ppm. Tingginya unsur karbon pada bahan hasil peleburan diduga berasal dari erosi dinding krusibel pada saat proses peleburan. Erosi ini disebabkan adanya efek pengadukan dari arus induksi pada cairan logam yang mengikis dinding krusibel selama proses peleburan berjalan.

Dari hasil pemeriksaan metalografi pada bahan hasil peleburan, diperoleh beberapa bentuk struktur mikro. Bentuk-bentuk dari struktur mikro tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 s/d 7.



50  $\mu$

Gambar 1. Struktur mikro "Basket wave"

Struktur mikro "Basket wave" [4]. pada Gambar 1, terbentuk pada bagian sisi bahan bahan dekat dinding krusibel. Struktur ini diduga terbentuk karena adanya pendinginan yang relatif cepat dengan kadar karbon di atas 150 ppm [4]. Pendinginan cepat terjadi karena

adanya transfer panas dari bahan ke dinding krusibel pada saat pembekuan.



50  $\mu$

Gambar 2. Struktur mikro "Basket wave" kasar.

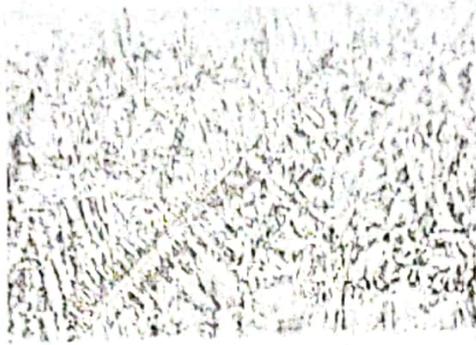
Struktur mikro "Basket wave" yang kasar pada Gambar 2 terbentuk pada daerah lain dari bahan hasil peleburan. Struktur ini terbentuk karena pendinginan pada saat pembekuan yang relatif sedikit lebih lambat dari pendinginan yang menghasilkan struktur mikro pada Gambar 2, sehingga strukturnya berbentuk kasar.

Struktur mikro "Dendrit" [5]. pada daerah lain dari bahan hasil peleburan pada Gambar 3, berbentuk menyerupai cabang pohon. Struktur ini terbentuk karena adanya daerah beku yang lebar [5]., yaitu perbedaan temperatur antara mulai dan berakhirnya pembekuan yang lebar. Mekanisme dari pertumbuhan struktur ini terjadi dari kristal-kristal dendrit yang tumbuh dari inti-inti, dan pada saat pembekuan bergabung. Struktur mikro "Basket wave"akhir, dendrit-dendrit tersebut saling bertemu. Gambar dari bentuk-bentuk struktur "Dendrit" yang lain yang ada pada bahan hasil peleburan, diperlihatkan pada Gambar 3, 4, 5 dan 6.



50  $\mu$

Gambar 3. Struktur mikro "Dendrit".



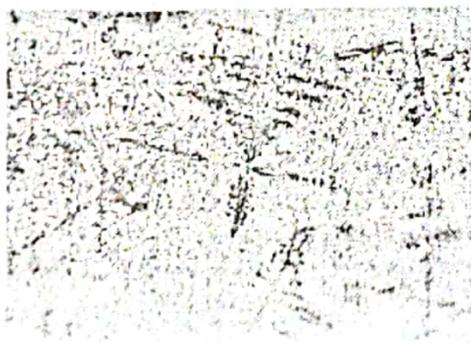
50 μ

Gambar 4. Struktur mikro "Dendrit".



50 μ

Gambar 5. Struktur mikro "Dendrit".

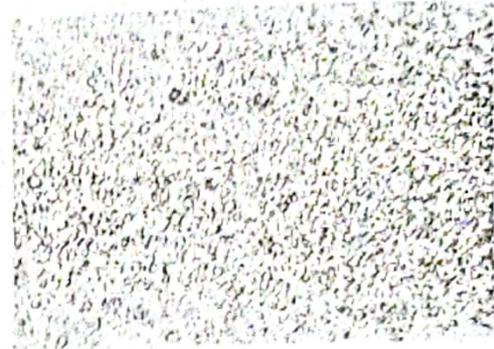


50 μ

Gambar 6. Struktur mikro "Dendrit".

Pada bagian tengah dari bahan hasil peleburan terbentuk struktur mikro "Alpha" dengan butir yang bulat. Struktur ini terbentuk karena adanya pendinginan yang relatif lambat pada saat pembekuan. Lambatnya pembekuan ini terjadi karena proses pembekuan logam cair berjalan dari daerah dinding krusibel menjar ke bagian yang paling terakhir membeku. Pada

Gambar 7 diperlihatkan struktur mikro "Alpha" tersebut.



50 μ

Gambar 7. Struktur mikro "Alpha".

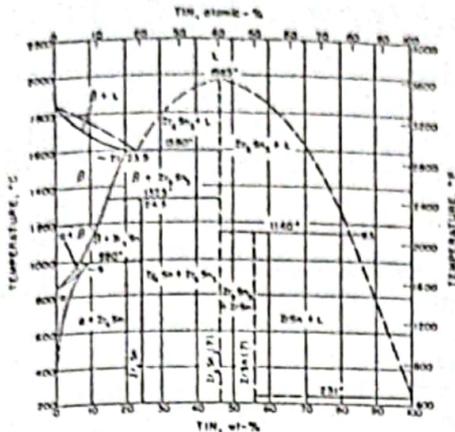
Dari hasil pengujian kekerasan pada bahan hasil peleburan menggunakan uji kekerasan Vickers, kekerasan pada struktur "Basket wave" sebesar 266 HV, pada struktur "Dendrit" 458 HV dan pada struktur "Alpha" 356 HV.

#### DISKUSI

Bila dilihat dari pemeriksaan struktur mikro yang terbentuk dan kekerasan dari masing-masing struktur yang ada pada hasil peleburan tersebut, nampak proses peleburan menggunakan tungku induksi ini menghasilkan struktur mikro yang bervariasi sesuai dengan posisi dari cuplikan hasil peleburan.

Struktur mikro ini terutama dihasilkan karena dugaan berikut : Pada proses peleburan sampai temperatur 1900°C telah terjadi beberapa perubahan fasa, pada proses pendinginan, kecepatan pendinginan pada setiap posisi berbeda. Pada posisi bagian terluar dari cuplikan hasil peleburan menunjukkan informasi pendinginan yang terjadi pada tungku ini terlalu cepat dibandingkan dengan perubahan menuju fasa alpha sesuai diagram kesetimbangan Zr-Sn (Gambar 8). Sedangkan pada posisi bagian tengah dari cuplikan hasil peleburan keadaannya agak lain, karena pada bagian ini tidak berhubungan langsung dengan bagian luar, maka proses pendinginan berjalan lebih lambat ( dari bagian luar ), sehingga paduan yang ada pada bagian dalam ini mempunyai kesempatan untuk berubah menjadi fasa yang dikehendaki yaitu fasa alpha.

Fasa alpha dengan butir yang equiakial dan kekerasan 240 HV seperti pada Zirkaloy-2 yang disyaratkan sebagai bahan Elemen Bakar Nuklir, pada proses ini sementara belum



Gambar 8. Diagram fasa Zr-Sn.

tercapai. Beberapa ide yang dapat disumbangkan dari penelitian ini adalah :

1. Proses pendinginan pada tungku ini terlalu cepat, sehingga tungku ini perlu dimodifikasi, agar pendinginan dapat diatur baik kecepatannya maupun polanya.
2. Untuk memperbaiki hasil peleburan ini dapat juga dilakukan proses perlakuan panas pada bahan hasil peleburan, dengan mengatur pola pemanasan dan pendinginannya

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Fizzoti, C., Principle of nuclear fuel production, zirconium, ENEA/BATAN, Bilateral Agreement, Specialized Course for BATAN Personnel Fuel Cycle Department, Vol 2 (1984).
2. Mannesmannrohren - Werke, Specification for Zircaloy (1984).
3. Reference Material of Atomic Energy, Selected Reference Material United State Atomic Energy Program, Reactor Hand Book : Materials, United State of Amerika, Geneva, Vol 4 (1985).
4. Romeiser, H. J., TIG Welding process, Komunikasi di PPTN Bandung (1987).
5. Tata Surdia, Kenji Chijiwa, Teknik Pengecoran Logam, Association for International Technical Promotion, Tokyo, Japan (1975).

Dari kedua alternatif tersebut nampaknya alternatif yang kedua yang dapat dilakukan di lab. PPTN ini.

#### KESIMPULAN

1. Peleburan untuk proses pemaduan pada penelitian ini, dicapai pada temperatur 1900 °C.
2. Karena tingginya temperatur peleburan, maka peleburan pada penelitian ini hanya dapat dilakukan pada krusibel grafit.
3. Kesempurnaan peleburan untuk proses pemaduan dicapai dengan membuat potongan zirkonium sponge di bawah 10 mm untuk volume peleburan di bawah 100 gram.
4. Penggunaan persentase berat maksimum unsur pemadu sesuai spesifikasi pada saat pemaduan, menghasilkan persentase unsur pemadu dalam batas spesifikasi pada bahan hasil peleburan.
5. Penggunaan krusibel grafit pada proses peleburan menyebabkan tingginya kadar karbon pada bahan hasil peleburan sebesar 1946, 54 ppm.
6. Struktur mikro yang terbentuk pada bahan hasil peleburan adalah struktur "Basket wave", "Dendrit" dan struktur "Alpha".
7. Angka kekerasan bahan hasil peleburan sebesar 266 HV pada struktur "Basket wave", 458 HV pada struktur "Dendrit" dan 356 HV pada struktur "Alpha".