

PENGARUH KANDUNGAN Si TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN KEKERASAN INGOT Zr-Nb-Si

Heri Hardiyanti, Futichah, Djoko Kisworo, Slamet Pribadi
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, Serpong

ABSTRAK

PENGARUH KANDUNGAN SI TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN KEKERASAN INGOT PADUAN Zr–Nb–Si. Tujuan penelitian ini ialah melihat pengaruh kandungan Si terhadap mikrostruktur dan kekerasan ingot Zr–Nb–Si. Ada 15 sampel yang diteliti. Kandungan silikon dalam masing-masing sampel divariasikan sebagai berikut: 0,1; 0,2 dan 0,25%. Sampel dianil pada suhu 400 °C dan 800 °C selama 4 jam dan 6 jam. Setelah dianil, sampel tersebut disiapkan untuk pemeriksaan metalografi dengan di-mounting, digerinda, dipoles dan dietsa. Selanjutnya dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop optik dan uji kekerasan dengan alat kekerasan mikro Vickers. Hasil uji kekerasan dan pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa penambahan kandungan Si akan menghasilkan butiran yang lebih halus. Namun, butiran yang semakin halus tidak menaikkan kekerasan paduan. Pada kenyataannya kekerasan tidak berbanding terbalik dengan ukuran butir. Hal ini berarti bahwa kekerasan dipengaruhi oleh parameter larutan padat. Semakin banyak kandungan Si, semakin lunak paduan tersebut.

KATA KUNCI: Mikrostruktur, Kekerasan, Paduan Zr-Nb-Si, Larutan padat

ABSTRACT

EFFECTS OF SILICON CONTENT ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF Zr-Nb-Si ALLOY INGOT. The objective of this research is to observe the effects of Si content on the microstructure and hardness of Zr–Nb–Si alloy ingot. There are 15 samples to be evaluated. The silicon content is varied in each sample as follows: 0.1, 0.2 and 0.25%. The samples are annealed at 400 °C and 800 °C for 4 hours and 6 hours. After being annealed, the samples are prepared for metallographic observation by being mounted, grinded, polished, and etched. The microstructure of each prepared sample is observed using optical microscope and the hardness is tested using Vickers microhardness. From the results of hardness testing and microstructure observation, it is shown that an addition of Si content would result in finer grains. However, the finer grains do not increase the alloy hardness. In fact, the hardness is not reciprocal to the grain size. It means that the hardness is controlled by the parameter of solid solution. The more Si content there is, the softer the alloy becomes.

FREE TERMS: Microstructure, Hardness, Zr-Nb-Si alloy, Solid solution

I. PENDAHULUAN

Logam paduan zirkonium (zirkaloi) digunakan sebagai material kelongsong elemen bakar reaktor daya jenis LWR (*Light Water Reactor*) dan HWR (*Heavy Water Reactor*)^[1].

Alasan pemakaian bahan tersebut didasarkan atas sifat fisis dan mekanik yang dimilikinya, yaitu tampang lintang serapan neutron yang rendah, kekuatan mekanik yang stabil pada tekanan dan temperatur tinggi, ketahanan korosi pada temperatur dan tekanan tinggi

(<400°C), ketahanan terhadap kerusakan akibat radiasi, dan mudah dikerjakan dan difabrikasi^[1].

Logam paduan zirkonium tersebut dibuat dengan cara menambahkan unsur padu dengan persentase tertentu ke dalam zirkonium, dan dilebur dalam tungku peleburan vakum sehingga diperoleh ingot. Unsur padu tersebut antara lain niobium (Nb) dan silikon (Si). Teknologi proses pembuatan logam paduan zirkonium terus dikembangkan dalam upaya untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi dalam air/uap air.

Untuk menunjang maksud tersebut para peneliti di negara-negara maju telah membuat logam paduan berbasis zirkonium dengan berbagai variasi komposisi unsur-unsur padu. Penambahan unsur niobium dalam paduan dapat meningkatkan kekuatan paduan dan ketahanan korosi dalam air dan uap air pada suhu tinggi.

Berdasarkan kajian pustaka terhadap logam paduan Zr–Si diketahui bahwa pada penambahan Si antara 0,015% sampai 0,3% ke dalam logam induk zirkonium, Si akan terdistribusi secara merata sebagai impuritas yang menutup seluruh permukaan butir dan meningkatkan ketahanan korosi selama pendinginan perlahan-lahan dalam areal fasa-($\alpha+\beta$)^[2]. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh perubahan kandungan Si terhadap mikrostruktur dan kekerasan ingot paduan Zr–Nb–Si dengan variasi 0,1; 0,2 dan 0,25% Si. Diharapkan dengan penambahan Si pada paduan Zr–Nb–Si sesuai dengan penelitian ini akan menghasilkan diameter butir paduan yang semakin halus dan homogen serta kekerasan semakin meningkat.

II. TEORI

2.1. Bahan Zirkonium

Zirkonium memiliki tampang lintang serapan neutron termal yang rendah (0,180 barn), titik lebur tinggi (1850 °C), kekuatan mekanik tinggi pada suhu tinggi, ketahanan korosi terhadap air dan uap air serta keberadaan dan kelimpahan di alam cukup besar. Hal ini memberikan peluang bagi zirkonium untuk digunakan sebagai kelongsong elemen bakar dan bahan struktur pada reaktor air ringan (LWR) atau air berat (HWR). Biasanya zirkonium yang digunakan ini dipadu dengan unsur lain sehingga memberikan sifat-sifat yang lebih baik seperti yang diinginkan^[3].

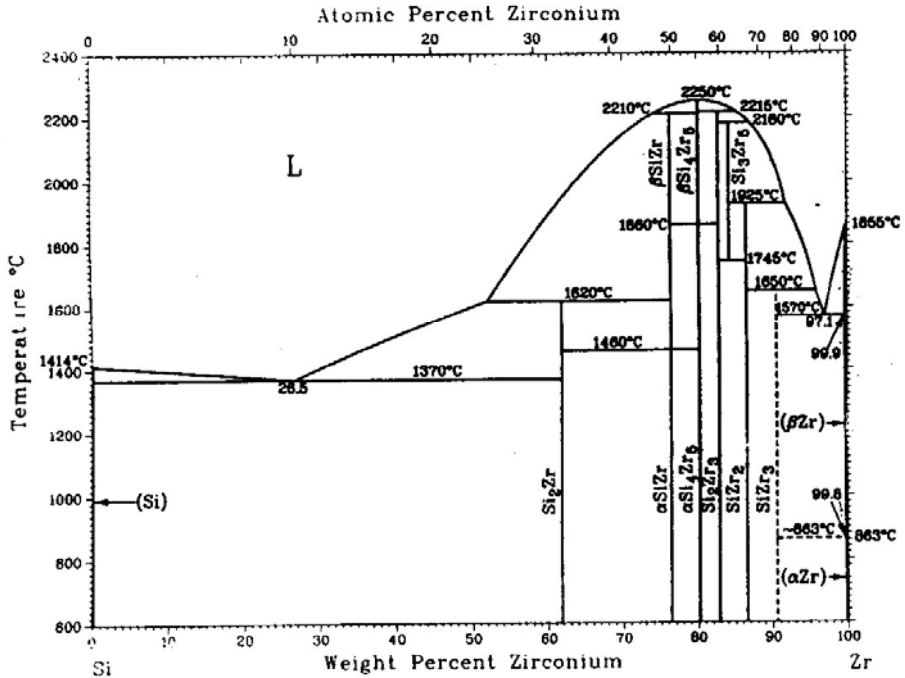
Zirkonium memiliki tampang lintang serapan neutron yang rendah. Bahan yang dipakai dalam reaktor mengalami radiasi neutron termal dan dapat mengalami kerusakan. Zirkaloi mempunyai kekuatan mekanik yang relatif stabil terhadap radiasi neutron serta ketahanan terhadap korosi dalam air suhu tinggi (400 °C). Berdasarkan sifat-sifat di atas, zirkaloi memiliki nilai lebih untuk diaplikasikan sebagai kelongsong bahan bakar nuklir reaktor daya.

2.2. Pengaruh Silikon

Silikon dapat ditambahkan pada paduan Zr dalam jumlah agak banyak tanpa mengurangi sifat ekonomi neutron termal. Dalam jumlah kecil Si meningkatkan ketahanan korosi pada sistem paduan biner (Zr dan Si). Penambahan Si yang lebih besar terhadap paduan akan mengakibatkan kerusakan korosi lebih cepat^[2].

Pada paduan Zr yang mengandung 0,015 – 0,3% Si, maka Si akan terdistribusi secara merata sebagai impuritas yang menutup seluruh permukaan butir dan meningkatkan ketahanan korosi selama pendinginan perlahan-lahan dalam areal fasa-($\alpha+\beta$). Paduan Zr–Si mempunyai diagram fasa yang kompleks dan jika kandungan Si tinggi maka sulit dilakukan proses pengerjaan pada paduan tersebut^[2].

Pada diagram fasa Zr–Si dapat dilihat bahwa dengan penambahan konsentrasi Si 0,1 – 0,25% dan pemanasan sampai 800 °C akan terbentuk fasa- α Zr.



Gambar 1. Diagram fasa Zr–Si^[5]

III. TATA KERJA

3.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pemotong, tungku anil, peralatan preparasi sampel, mikroskop optik, dan alat uji kekerasan mikro Vickers dengan beban 100 P.

3.2. Cara Kerja

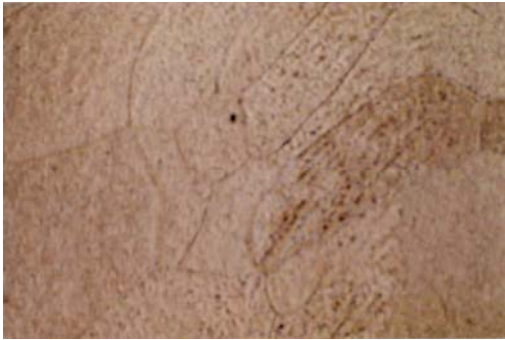
Ingot paduan Zr–Nb–0,1%Si, Zr–Nb–0,2%Si, dan Zr–Nb–0,25%Si dipotong menjadi 15 buah, dengan kode sampel sebagai berikut: A = Zr–Nb–0,1%Si; B = Zr–Nb–0,2%Si; C = Zr–Nb–0,25%Si; tanpa anil dengan kode A0, B0 dan C0; untuk suhu 400 °C dan waktu 4 jam dengan kode A1, B1, C1; untuk suhu 800 °C dan waktu 4 jam dengan kode A3, B3, C3; untuk suhu 400 °C dan waktu 6 jam dengan kode A4, B4, C4; dan untuk suhu 800 °C dan waktu 6 jam dengan kode A6, B6, C6.

3.3. Anil, Metalografi dan Uji Kekerasan

Ingot paduan Zr–Nb–Si dengan variasi (0,1;0,2;0,25)% Si dipotong menjadi 15 buah. Hasil pemotongan kemudian mengalami proses anil dengan suhu 400 °C dan 800 °C dengan waktu penahanan 4 jam dan 6 jam. Hasil anil kemudian di-*mounting*, digerinda, dipoles dan dietsa. Selanjutnya dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop optik dan uji kekerasan dengan alat uji kekerasan mikro Vickers.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

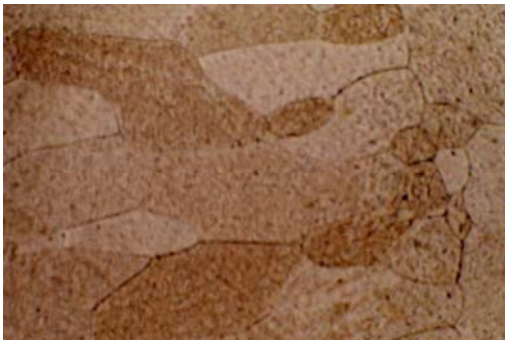
4.1. Hasil Gambar Mikrostruktur dengan Perbesaran 200×



Gambar 2. Mikrostruktur paduan Zr–Nb–0,1% Si tanpa perlakuan panas



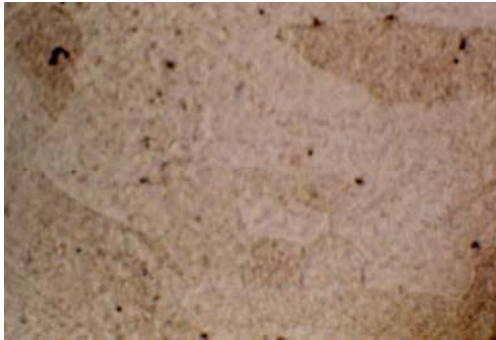
Gambar 3. Mikrostruktur paduan Zr–Nb–0,1% Si yang dipanaskan pada suhu 400 °C, selama 4 jam



Gambar 4. Mikrostruktur paduan Zr–Nb–0,1% Si yang dipanaskan pada suhu 800 °C, selama 6 jam



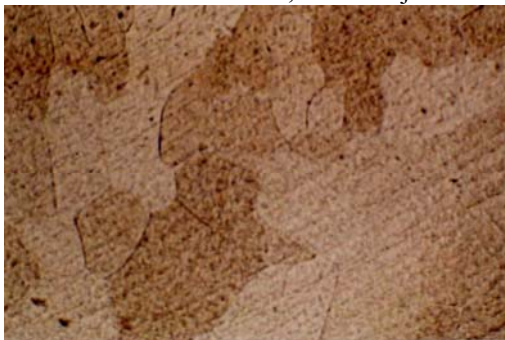
Gambar 5. Mikrostruktur paduan Zr–Nb–0,2% Si tanpa perlakuan panas



Gambar 6. Mikrostruktur paduan Zr-Nb-0,2% Si yang dipanaskan pada suhu 400 °C, selama 4 jam



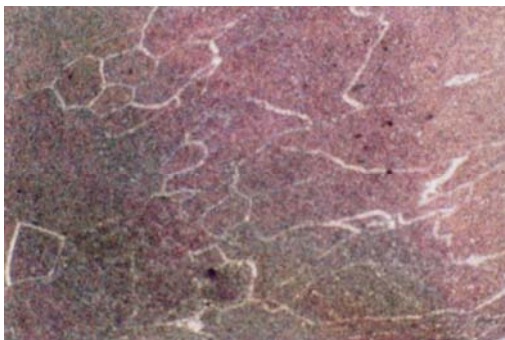
Gambar 7. Mikrostruktur paduan Zr-Nb-0,2% Si yang dipanaskan pada suhu 800 °C, selama 6 jam



Gambar 8. Mikrostruktur paduan Zr-Nb-0,25% Si tanpa perlakuan panas



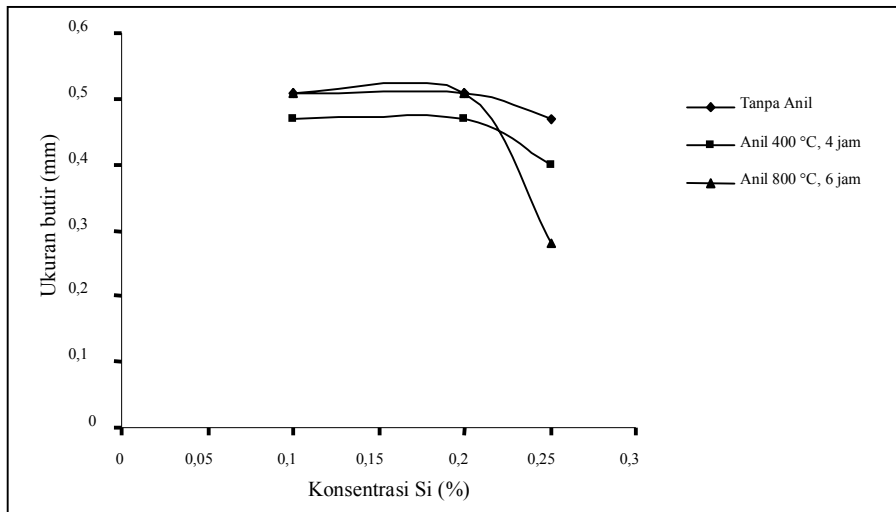
Gambar 9. Mikrostruktur paduan Zr-Nb-0,25% Si yang dipanaskan pada suhu 400 °C, selama 4 jam



Gambar 10. Mikrostruktur paduan Zr-Nb-0,25% Si yang dipanaskan pada suhu 800 °C, selama 6 jam

Tabel 1. Hasil uji mikrostruktur

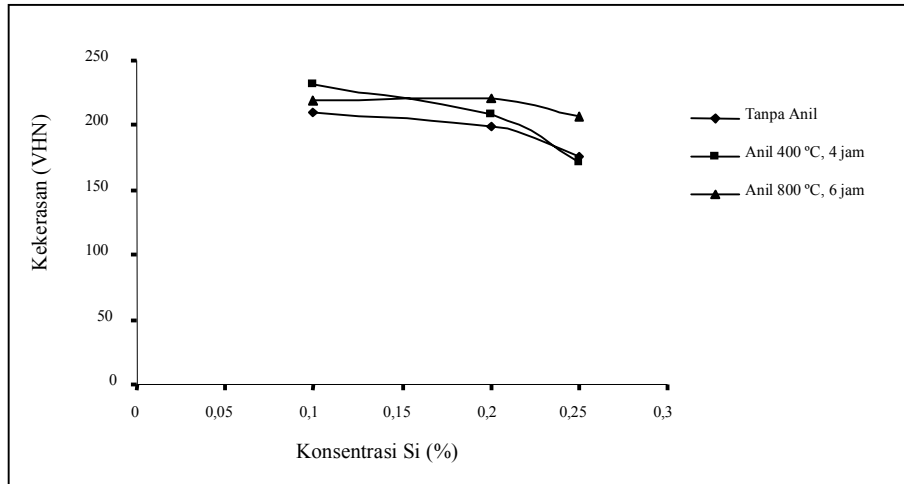
| Paduan | Kondisi | Diameter butir (mm) |
|---------------|--------------------|---------------------|
| Zr–Nb–0,1%Si | Tanpa Anil | 0,51 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Tanpa Anil | 0,51 |
| Zr–Nb–0,25%Si | Tanpa Anil | 0,47 |
| Zr–Nb–0,1%Si | Anil 400 °C, 4 jam | 0,47 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Anil 400 °C, 4 jam | 0,47 |
| Zr–Nb–0,25%Si | Anil 400 °C, 4 jam | 0,40 |
| Zr–Nb–0,1%Si | Anil 800 °C, 6 jam | 0,51 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Anil 800 °C, 6 jam | 0,47 |
| Zr–Nb–0,25%Si | Anil 800 °C, 6 jam | 0,28 |



Gambar 11. Grafik ukuran butir versus konsentrasi Si pada paduan Zr–Nb–Si

Tabel 2. Hasil uji kekerasan

| Paduan | Kondisi | Kekerasan (VHN) |
|---------------|--------------------|-----------------|
| Zr–Nb–0,1%Si | Tanpa Anil | 210 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Tanpa Anil | 199,67 |
| Zr–Nb–0,25%Si | Tanpa Anil | 176,67 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Anil 400 °C, 4 jam | 231,33 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Anil 400 °C, 4 jam | 207,67 |
| Zr–Nb–0,25%Si | Anil 400 °C, 4 jam | 170,67 |
| Zr–Nb–0,1%Si | Anil 800 °C, 6 jam | 218,67 |
| Zr–Nb–0,2%Si | Anil 800 °C, 6 jam | 221,33 |
| Zr–Nb–0,25%Si | Anil 800 °C, 6 jam | 206,33 |



Gambar 12. Grafik kekerasan versus konsentrasi Si pada paduan Zr–Nb–Si

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pengaruh Penambahan Si terhadap Mikrostruktur Paduan Zr–Nb–Si

Dari hasil pengamatan mikrostruktur seperti pada Gambar 11, terlihat bahwa dengan adanya peningkatan kadar Si dalam paduan ukuran butir mengalami penurunan. Data lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1. Cara menentukan ukuran butir dilakukan dengan metode *intercept*. Bentuk dari butiran yaitu sama sisi (*equiaxed*). Pada masing-masing konsentrasi Si yang sama, dengan meningkatnya suhu anil terjadi penurunan ukuran butir. Hal ini diakibatkan oleh adanya proses difusi Si yang semakin merata, sedangkan penambahan Si di dalam paduan Zr–Nb–Si sebagai penghalus butir (*grain refiner*). Sehingga makin merata distribusi Si dalam paduan makin banyak butiran halus yang terbentuk. Disamping itu adanya penambahan Si dapat pula menyebabkan terbentuknya fasa kedua. Kemungkinan fasa kedua yang terbentuk adalah SiZr_3 seperti pada Gambar 1. Fasa kedua yang terbentuk tersebut juga dapat berfungsi untuk menghalangi pertumbuhan butir pada saat anil, sehingga dihasilkan butiran yang halus.

4.2.2. Pengaruh Penambahan Si terhadap Kekerasan Paduan Zr–Nb–Si

Dari hasil uji kekerasan, seperti pada Gambar 12 terlihat bahwa dengan adanya peningkatan konsentrasi Si dalam paduan kekerasannya cenderung menurun. Data lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2. Kekerasan yang cenderung menurun kemungkinan disebabkan oleh Si yang tidak seluruhnya membentuk fasa kedua tetapi membentuk larutan padat sehingga paduan menjadi lebih lunak. Sifat mekanik Si yang berdiri sendiri lebih lunak dari fasa keduanya.

V. KESIMPULAN

Dari data mikrostruktur dan kekerasan, diperoleh bahwa penambahan Si akan memperhalus butir (butir semakin kecil) dan menurunkan kekerasan paduan. Oleh karena itu kekerasan paduan berbanding lurus dengan ukuran butir. Jadi yang mengendalikan kekerasan pada paduan ini adalah larutan padat Si.

VI. UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih banyak kepada Sugondo, Isfandi, Hadijaya, Deni, Arief dan pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu dalam proses penelitian ini dari awal hingga selesai.

VII. DAFTAR PUSTAKA

1. SIGIT, WIDJAKSANA, MUCHLIS B., dan R.A. SURYANA, “Analisis Fenomena Proses Pengompakan Serbuk Zircaloy-4”, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY-BATAN, Buku II, ISSN 0216-3128, Yogyakarta, April 1995, hal.125-130.
2. PARVENOV, B.G., GERASIMOV, V.V., and IVENEDIKTOVA, G., “Corrosion Zirconium and Zirconium Alloys”, Israel Program for Scientific Translation Jerusalem, 1969, pp.10,18-23.
3. SIGIT, “Bahan Dukung dan Struktur”, Diklat Teknologi Industri Bahan Bakar Nuklir, Serpong, 10-26 Juli 1995, hal.11.
4. SUGONDO, dan MUCHLIS, B., “Optimasi Karakteristik Ketahanan Korosi Zirkaloi Melalui Variabel Pemadu”, Seminar FTUI, PEBN-BATAN, 4-7 Agustus 1998, hal.3-4.
5. THADEUS, B.M., OKAMATO, H., SUBRAMANIAN, P.R., and KACPZAK, L., Binary Alloy Phase Diagrams, ASM International, 2nd ed., Vol. 2-3.
6. DALGAARD, S.B., *ibid*, p.159.
7. ELLS, C.E., et.al., Proceedings of the Third UN International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy”, Geneva, 1964.