

PENGARUH WAKTU PEMANASAN TERHADAP REGANGAN KISI DAN KONDUKTIVITAS PADUAN ZIRKONIUM

P. Purwanto

Pusat Tekonologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN

Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan, 15314

Email : patricius@batan.go.id

(Naskah diterima : 06-12-2010, diproses : 20-12-2010)

ABSTRAK.

PENGARUH WAKTU PEMANASAN TERHADAP REGANGAN KISI DAN KONDUKTIVITAS PADUAN ZIRKONIUM. Paduan zirkonium atau zirkaloy-4 diperoleh dari Pusat Elemen Bahan Nuklir. Zirkaloy-4 dilakukan perlakuan panas pada temperatur 300 °C dan 500 °C dengan lamanya pemanasan mulai 0 sampai 8 jam, kemudian di dinginkan secara cepat pada air bebas mineral. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur kristal paduan zirkonium dengan difraksi sinar-x dan konduktivitas listrik dengan teknik LCR. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa lama waktu perlakuan panas terhadap zirkaloy-4 dapat mempengaruhi konduktivitas listrik dan kapasitansinya. Konduktivitas listrik zirkaloy-4 naik dan kapasitansi berkurang seiring dengan lama waktu perlakuan panas. Struktur kristal zirkaloy-4 mempunyai struktur heksagonal tumpukan padat (HCP). Ukuran butiran zirkaloy-4 naik seiring dengan lamanya perlakuan panas. Regangan kisi zirkaloy-4 menurun seiring dengan lamanya waktu pemanasan.

Kata kunci: Zirkaloy, termal, difraksi sinar-x, konduktivitas.

ABSTRACT.

INFLUENCE OF HEATING TIME ON THE ZIRCALLOY AGAINTS LATTICE STRAIN AND CONDUCTIVITY OF ZIRCALLOY. Zirconium alloy or zircalloy-4 was gotten from Nuclear Material Element Centre. The zircalloy-4 had been done heat threatment at the temperature 300 °C and 500 °C with it long heating at begin 0 to 8 hours, then quenching in the demineral water. The observation of zircalloy-4 had been done with x-ray diffraction and conductivity of electric test by XRD and LCR. The result of experiment to showed that time of heat treathment on zircalloy-4 can be influence electric conductivity and it capacitance. Electirc conductivity of zircalloy-4 was increasing with increasing in time heating. Capasitance of zircalloy-4 was decreased with increasing in time heating The profile by diffraction of zircalloy-4 show the crystall structure was hexagonal closed packet (HCP). The size grain of zircalloy-4 was increased with increasing of time heat threatment. The strain of zircalloy-4 was decreased with increasing of time heat threatment.

Key words: Zircalloy, themal, x-ray diffraction, conductivity.

PENDAHULUAN

Zirkaloy adalah suatu paduan logam yang digunakan sebagai kelongsong pada elemen bahan bakar Reaktor nuklir. Pemakaian logam zirkonium sebagai kelongsong telah disempurnakan dengan menambahkan unsur Sn, Fe, Cr dan Ni kedalam logam zirkonium menjadi paduan zirkaloy-2^[1,2].

Zirkaloy-4 mempunyai bentuk struktur kristal heksagonal pada temperatur $T < 865$ °C yang dikenal sebagai fasa- α . Sedangkan pada temperatur $T > 865$ °C zirkaloy-4 mempunyai struktur kristal kubus pusat ruang yang dikenal sebagai fasa- β ^[3]. Perlakuan dan waktu pemanasan pada zirkaloy-4 akan mempengaruhi struktur kristal, konduktivitas listrik dan sifat korosi sebagai kelongsong bahan bakar nuklir^[4-6].

Dalam penelitian ini akan dilakukan perlakuan panas pada zirkaloy-4 pada temperatur 300 °C dan 500 °C dengan variasi waktu pemanasan yaitu 3 jam, 5 jam dan 8 jam, dilanjutkan dengan pendinginan cepat pada media air bebas mineral

Perlakuan panas pada zirkaloy-4 dilakukan pada temperatur 300 °C dan 500 °C dengan variasi waktu yang berbeda. Setelah perlakuan panas, dilakukan pengujian dengan difraksi sinar-x, dan konduktivitas listrik. Parameter-parameter yang ditentukan yaitu regangan kristal, kapasitas dan konduktivitas.

Zirkaloy-4 merupakan suatu bahan paduan yang digunakan sebagai bahan pembungkus bahan baker reaktor nuklir atau sebagai *cladding*. Untuk mengetahui seberapa jauh terjadi interaksi antara bahan zirkaloy-4 terhadap radiasi, dilakukan metode lain yaitu dengan mengukur konduktivitas bahan zirkaloy-4 terhadap lamanya perlakuan panas pada temperatur 300 °C dan 500 °C. Dengan mengetahui konduktivitas listrik, regangan kristal zirkaloy-4 dapat diprediksi ketahanan korosi pada zirkaloy-4 tersebut.

TEORI.

Sifat fisis dan mekanik zirkaloy-4^[7] ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat fisis dan mekanik zirkaloy-4

Sifat fisis	Nilai
Kerapatan pada temperatur 20 °C	6,56 g/cm ³
Struktur Kristal fasa- α	HCP($T < 865$ °C)
Struktur Kristal fasa- β	BCC($T > 865$ °C)
Titik leleh	1850 °C
Titik didih	4375 °C
Koeffisien ekspansi, $T = 25$ °C per °C $\times 10^{-6}$	6,0
Panas jenis	285 (kal/g.°K)
Sifat mekanik	
Modulus Elastis	99,3 GPA
Modulus Geser	36,2 GPA
Poisson Rasio	0,37

Konduktivitas listrik suatu bahan ditentukan oleh struktur kristalnya, misalnya bahan dengan konduktivitas tinggi mempunyai tipe struktur kristal dengan tumpukan atom tidak padat, sehingga mempunyai jaringan untuk dilewati ion yang bergerak.

Persamaan konduktivitas listrik^[8,9] :

$$J = \sigma \varepsilon \quad (1)$$

menghubungkan antara kerapatan arus, J dan medan listrik, ε , dimana σ adalah konduktivitas, kebalikan dari resistivitas ρ . Misalnya arus I pada sebuah sampel bahan dengan penampang tetap A (m²) dan panjang L (m) dan diberi tegangan V pada bahan yang diukur, ditunjukkan pada Gambar 1.

Kerapatan arus J adalah I/A (Ampere/m²), dan medan listrik ε adalah V/L (V/m) persamaan 1, direduksi menjadi :

$$I/A = 1/\rho \cdot V/L \quad (2)$$

Tahanan R dari bahan diberikan sebagai $R = V/I$ maka :

$$R = V/I = \rho L/A (\Omega),$$

atau

$$\rho = RA/L (\Omega \cdot m) \quad (3)$$

Konduktansi, $G = 1/R$, resistivitas, $\rho = 1/\sigma$, maka persamaan 3, ditulis :

$$\sigma = G (L/A) \quad (4)$$

satuannya adalah $\Omega^{-1} m^{-1}$ atau Siemen/m.

Konduktivitas listrik sebagai fungsi temperatur dapat didekati dengan model Arrhenius^[10] yaitu :

$$\sigma = (\sigma_0/kT) \exp (-E_a/kT) \quad (5)$$

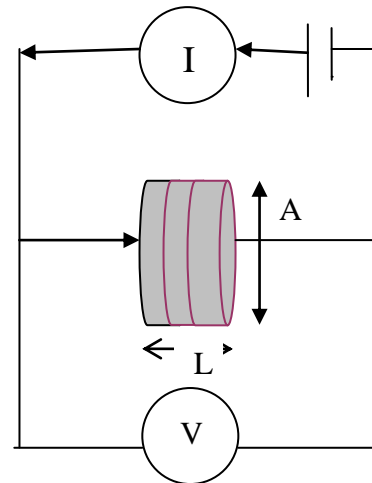
dimana σ_0 , k , T , E_a adalah konstanta eksponen, konstanta Boltzman, temperatur (Kelvin) dan energi aktivasi.

Dengan teknik difraksi sinar-x dapat dihitung regangan kisi dan ukuran butiran zirkaloy-4 dengan mempergunakan persamaan pada acuan^[11], yaitu:

$$(\beta \cdot \cos \theta) / \lambda = 0,9/D + (2 \eta \sin \theta) / \lambda \quad (6)$$

dimana: β adalah lebar setengah puncak difraksi (FWHM), θ adalah sudut Bragg, λ adalah panjang gelombang sinar-x, D adalah ukuran kristal dan η adalah regangan kisi.

Sudut 2θ dan β diperoleh dari perhitungan dengan mempergunakan program *Igor*.



Gambar 1. Pengukuran konduktivitas ionik.

TATA KERJA

Zirkaloy-4 dalam bentuk kelongsong dengan ukuran diameter luar 1,062 cm dan diameter dalam 0,91 cm dipotong 1 cm, dipanaskan pada temperatur 300 °C dan 500 °C dengan waktu pemanasan divariasi 1 sampai 8 jam. Dilanjutkan dengan pendinginan cepat di dalam air bebas mineral. Kemudian dilakukan pengujian difraksi sinar-x, konduktivitas listrik.

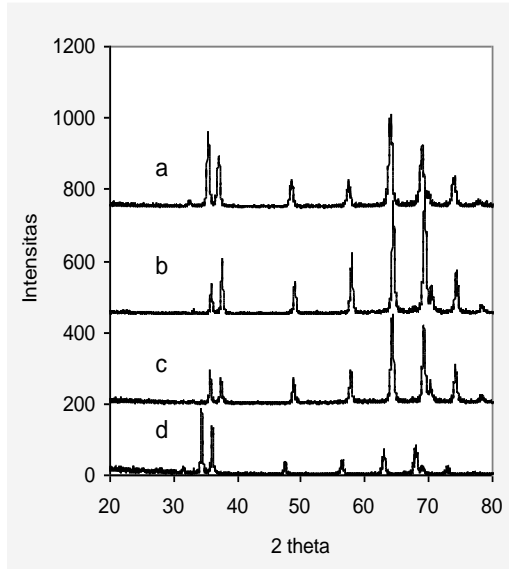
HASIL DAN PEMBAHASAN.

a. Difraksi sinar-x zirkaloy-4.

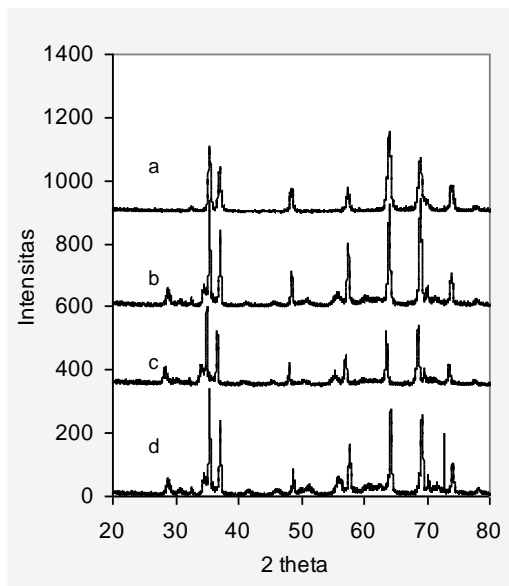
Gambar 2(a-d) berturut-turut adalah puncak difraksi sinar-x sebelum dan sesudah perlakuan panas pada temperatur 300 °C, sedangkan Gambar 3(a-d) perlakuan panas pada temperatur 500 °C dengan lama perlakuan panas beda. Dari hasil Gambar 2 dan 3, zirkaloy-4 sebelum dan sesudah perlakuan panas mempunyai puncak puncak difraksi sama. Struktur kristal zirkaloy-4 adalah heksagonal tumpukan padat (HCP), hal ini menunjukkan bahwa lama perlakuan panas tidak mempengaruhi struktur kristal zirkaloy-4.

Gambar 2 dan 3, dihitung sudut 2θ dan lebar setengah puncak dengan

menggunakan program Igor, hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 2. Puncak difraksi zirkaloy-4.
(A) 0 jam. (b) 3 jam. (c) 5 jam
(d) 8 jam.



Gambar 3. Puncak difraksi zirkaloy-4.
(a) 0 jam. (b) 3 jam. (c) 5 jam (d)
8 jam.

Tabel 2a. Hasil perhitungan 2θ dan β zirkaloy-4 setelah perlakuan $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Waktu	2θ	β	$\sin\theta/\lambda$	$(\beta\cos\theta)/\lambda$
Zr4-0J	35,379	0,0564	0,197	0,0348
	37,021	0,1039	0,206	0,0639
	57,428	0,1212	0,312	0,0689
	63,980	0,1352	0,344	0,0689
	68,930	0,1160	0,367	0,0620
Zr4-3J	35,886	0,0201	0,200	0,0124
	37,566	0,0357	0,209	0,0219
	57,885	0,0492	0,314	0,0279
	64,424	0,0794	0,346	0,0436
	68,371	0,0813	0,364	0,0436
Zr4-5J	35,723	0,0228	0,199	0,0141
	37,415	0,0320	0,208	0,0197
	57,752	0,0505	0,313	0,0287
	64,268	0,0652	0,345	0,0358
	69,232	0,0883	0,368	0,0471
Zr4-8J	34,366	0,0178	0,192	0,0110
	36,044	0,0377	0,201	0,0232
	56,401	0,0746	0,306	0,0426
	62,962	0,0701	0,339	0,0388
	67,936	0,0816	0,362	0,0439

Tabel 2b. Hasil perhitungan 2θ dan β zirkaloy-4 setelah perlakuan $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Waktu	2θ	β	$\sin\theta/\lambda$	$(\beta\cos\theta)/\lambda$
Zr4-0J	35,381	0,0552	0,197	0,0341
	37,021	0,1041	0,206	0,0640
	57,432	0,1437	0,312	0,0817
	63,983	0,1335	0,344	0,0734
	68,930	0,1149	0,367	0,0614
Zr4-3J	35,400	0,0129	0,197	0,0080
	37,091	0,0201	0,206	0,0124
	57,460	0,0434	0,312	0,0247
	63,983	0,0473	0,344	0,0260
	68,962	0,0596	0,367	0,0319
Zr4-5J	34,956	0,0116	0,195	0,0072
	36,642	0,0194	0,204	0,0119
	57,047	0,0339	0,310	0,0193
	63,585	0,0488	0,342	0,0269
	68,578	0,0515	0,365	0,0276

Zr4-8J	35,400	0,0146	0,197	0,0090
	37,090	0,0253	0,206	0,0156
	57,697	0,0387	0,313	0,0220
	64,211	0,0467	0,345	0,0257
	68,187	0,0599	0,364	0,0322

Dari Tabel 2, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (6). Dengan dibuat kurva antara $(\beta \cdot \cos \theta) / \lambda$ terhadap $\sin \theta / \lambda$ diperoleh persamaan garis regresi linier dengan masing-masing persamaan sebagai berikut:

(a). Perlakuan panas $T=300\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Y(0 \text{ jam}) = 0,127 \cdot x - 0,025$$

$$Y(3 \text{ jam}) = 0,166 \cdot x - 0,018$$

$$Y(5 \text{ jam}) = 0,159 \cdot x - 0,017$$

$$Y(8 \text{ jam}) = 0,168 \cdot x - 0,015$$

(b). Perlakuan panas $T=500\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Y(0 \text{ jam}) = 0,139 \cdot x - 0,024$$

$$Y(3 \text{ jam}) = 0,125 \cdot x - 0,015$$

$$Y(5 \text{ jam}) = 0,111 \cdot x - 0,013$$

$$Y(8 \text{ jam}) = 0,109 \cdot x - 0,010$$

Dari persamaan garis regresi linier tersebut, ukuran butiran dan regangan kisi dihitung, hasil ditunjukkan pada Tabel 3.

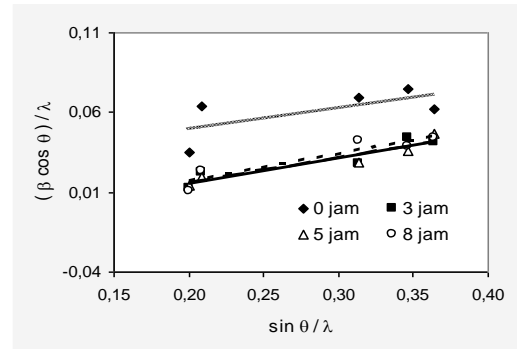
Tabel 3a. Ukuran butiran (D) setelah perlakuan panas pada temperatur $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nama	D (°A)	$\eta(\%)$
Zr4-0 jam	36,44	6,33
Zr4-3 jam	51,14	8,29
Zr4-5 jam	54,88	7,93
Zr4-8 jam	59,60	8,40

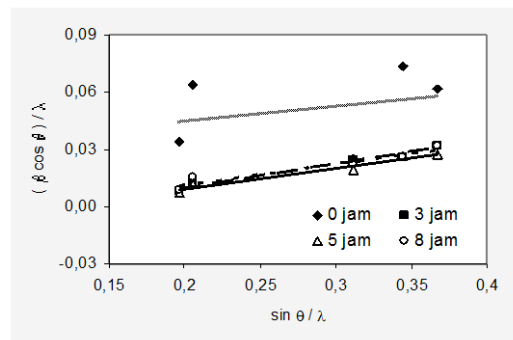
Tabel 3b. Ukuran butiran (D) setelah perlakuan panas pada temperatur $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nama	D (°A)	$\eta(\%)$
Zr4-0 jam	38,29	6,93

Zr4-3 jam	59,21	6,27
Zr4-5 jam	69,77	5,80
Zr4-8 jam	88,23	3,99



Gambar 4. Hubungan kurva $(\beta \cos \theta) / \lambda$ terhadap $\sin \theta / \lambda$ setelah perlakuan panas $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

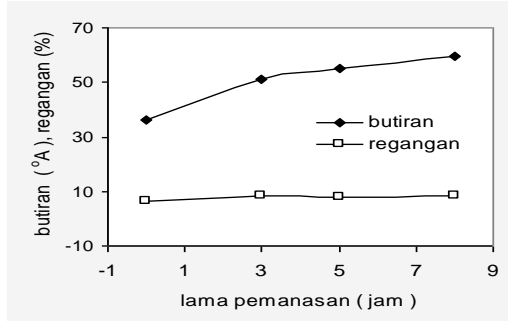


Gambar 5. Hubungan kurva $(\beta \cos \theta) / \lambda$ terhadap $\sin \theta / \lambda$ setelah perlakuan panas $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

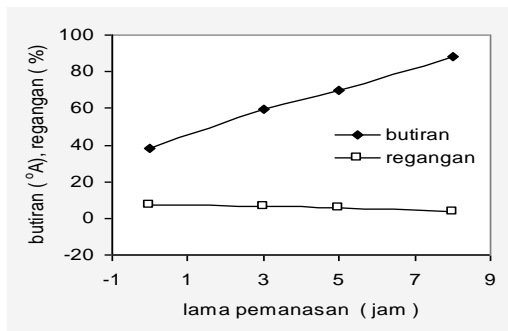
Gambar 4 dan 5, hubungan kurva antara $(\beta \cos \theta) / \lambda$ terhadap $\sin \theta / \lambda$ untuk perhitungan ukuran butiran dan regangan kisi. Dari Gambar tersebut diperoleh garis lurus, kemiringan garis merupakan regangan kisi dan konstanta merupakan ukuran butiran.

Pada Tabel 3a dan Tabel 3b, ukuran butiran zirkaloy-4 naik dan regangan kisi turun seiring dengan lama waktu perlakuan panas. Sedangkan regangan kisi pada perlakuan panas $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, dengan lama waktu pemanasan 5 jam seharusnya naik tetapi turun, hal ini menunjukkan adanya pergeseran pada lebar setengah puncak akibat waktu penekanan dan distribusi kehomogenan dari permukaan sampel.

Apabila dilihat pada Gambar 6 dan 7, perubahan pada regangan pada perlakuan panas 300 °C tidak signifikan dalam skala amstrom.



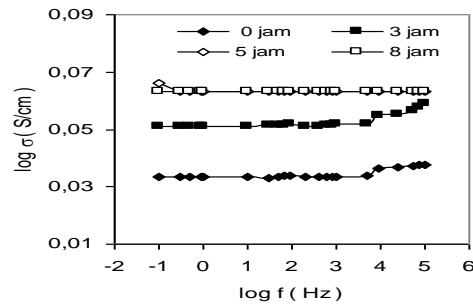
Gambar 6. Hubungan antara butiran dan regangan zirkaloy-4 terhadap lamanya waktu pemanasan pada temperatur 300 °C.



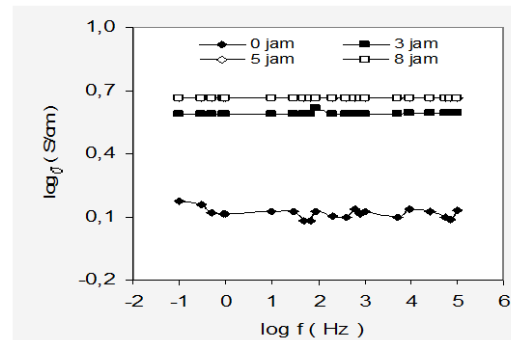
Gambar 7. Hubungan antara butiran dan regangan zirkaloy-4 terhadap lamanya waktu pemanasan pada temperatur 500 °C.

b. Konduktivitas listrik zirkaloy-4.

Pengukuran konduktivitas listrik zirkaloy-4 dilakukan pada frekuensi 0,1 Hz- sampai 100 kHz., ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Konduktivitas listrik zirkaloy-4 setelah perlakuan panas pada temperatur 300 °C.



Gambar 9. Konduktivitas listrik zirkaloy-4 setelah perlakuan panas pada temperatur 500 °C.

Perhitungan konduktivitas listrik pada zirkaloy-4 menggunakan model^[12], dengan persamaan konduktivitas :

$$\sigma = \sigma_0 f^s \tag{7}$$

dimana: σ adalah konduktivitas listrik (S/cm), σ_0 konduktivitas listrik yang tidak tergantung frekuensi dan s faktor eksponen, persamaan (7) diubah ke bentuk logaritma yaitu :

$$\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f. \tag{8}$$

Dengan mempergunakan persamaan (8) dapat ditentukan nilai konduktivitas listrik zirkaloy-4 ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4. Konduktivitas listrik zirkaloy-4

Sampel	σ_1 (S/cm)	σ_2 (S/cm)
Zr-0 jam	$10,79 \times 10^{-1}$	$11,42 \times 10^{-1}$
Zr-3 jam	$11,23 \times 10^{-1}$	$38,67 \times 10^{-1}$
Zr-5 jam	$11,58 \times 10^{-1}$	$45,29 \times 10^{-1}$
Zr-8 jam	$11,57 \times 10^{-1}$	$46,28 \times 10^{-1}$

Keterangan:

σ_1 = konduktivitas setelah perlakuan panas pada $T = 300^\circ\text{C}$.

σ_2 = konduktivitas setelah perlakuan panas pada $T = 500^\circ\text{C}$.

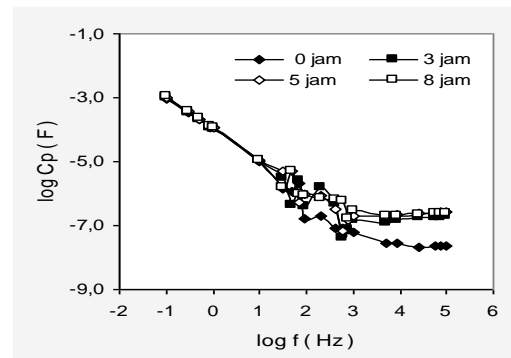
Zr-0 sampai Zr-8 = lama waktu pemanasan.

Pada Tabel 4, nilai konduktivitas listrik zirkaloy-4 sebelum perlakuan panas $10,79 \times 10^{-1}$ sampai $11,42 \times 10^{-1}$. Konduktivitas listrik setelah perlakuan panas pada temperatur 300°C relatif konstan seiring dengan lamanya perlakuan panas. Sedangkan konduktivitas setelah perlakuan panas 500°C , naik seiring dengan lamanya waktu pemanasan.

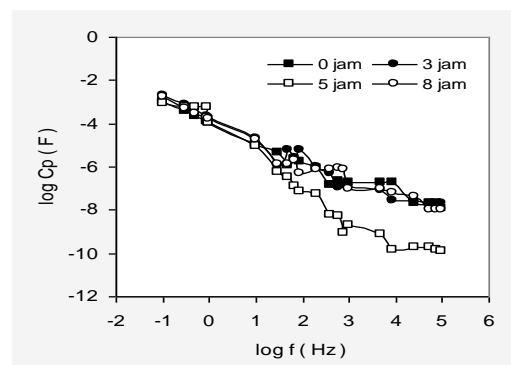
Kurva konduktivitas listrik pada Gambar 8 dan 9 terlihat agak datar pada selang frekuensi 0,1 Hz sampai 1000 Hz, hal ini menunjukkan suatu "DC (Direct Current) " yang berarti konduktivitas listrik zirkaloy-4 tidak tergantung pada frekuensi. Dengan mengetahui konduktivitas listrik pada zirkaloy-4, menunjukkan korosi agak lambat jika konduktivitasnya naik dan sebaliknya.

c. Kapasitansi zirkaloy-4.

Pengukuran kapasitansi zirkaloy-4 dilakukan pada frekuensi 0,1 Hz-sampai 100 kHz., ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Kapasitansi zirkaloy-4 setelah perlakuan panas pada temperatur 300°C .



Gambar 11. Kapasitansi zirkaloy-4 setelah perlakuan panas pada temperatur 500°C .

Pada Gambar 10 dan 11, kapasitansi pada zirkaloy-4 dengan lama waktu perlakuan panas turun seiring dengan naiknya frekuensi. Sedangkan pada Gambar 10 pada frekuensi diatas 1 kHz kapasitansi datar. Turunnya kapasitansi ini, karena zirkaloy-4 tidak dapat menyerap energi getaran yang diberikan berupa energi phonon sehingga energi phonon terbuang.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa lama waktu perlakuan panas terhadap zirkaloy-4 dapat mempengaruhi nilai konduktivitas listrik, kapasitansi dan regangan kisi. Konduktivitas listrik zirkaloy-4 naik seiring dengan lamanya waktu pemanasan, kecuali pada temperatur perlakuan panas 300 °C. Sementara itu, kapasitansi turun seiring dengan lamanya waktu perlakuan panas. Struktur kristal zirkaloy-4 yang terbentuk adalah heksagonal tumpukan padat (HCP). Regangan kisi zirkaloy-4 naik seiring dengan naiknya waktu pemanasan, kecuali pada temperatur 300 °C. Ukuran butiran zirkaloy-4 naik seiring dengan naiknya waktu pemanasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada teman-teman di BKAN-PTBIN yang telah membantu dalam penelitian ini. Peneliti mengucapkan terima kasih atas pemakaian alat XRD, LCR dan pemanas.

DAFTAR ACUAN

- [1]. BENYAMIN L, (1955). "The Metallurgy of zirconium", Mc-Graw-Hill Book Co, New York.
- [2]. DIAN, YUSUF N dan JOKO K, (2009). "Pengaruh Aplikasi Metode Standar internal pada Penentuan Unsur Cr dan Ni dalam Zirkaloy-2 dengan Metode Spektrometri Emisi", J.Uranian 15, No.2 hal.78-85.
- [3]. ASTM, (1990). "Annual Book of ASTM Standards", Vol.12, Nuclear Energy.
- [4]. JUNG S.H, KIM.I, (1989). "Effect of b-Heat Treatment on Micro Structure and Mechancial Anisotrop of Zirkalloy-4 Fuel Cladding", *J of Sci Tech* 26, ha.165-170.
- [5]. ANDI C, SUGONDO dan ASLINA Br G, (2006). "Karakterisasi Panas Jenis Zirkaloy-4 Sn Rendah Dengan Variabel Konsentrasi Fe", *J.Tek.Bhn.Nukl* 2, No.1, hal.13-20.
- [6]. ERIC J, WIJAKSANAN dan MUKLIS B, "Efek Pengulangan Melting Paduan Zirkaloy-4 Terhadap distribusi Konstituen Mudah Menguap", *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-Batan, Yogyakarta*, hal. 209-213.
- [7]. ASM, (1992). "Properties and Selection : Non ferrous Alloy and Special Purpose Material", *ASM Handbook* 2.
- [8]. S. CHANDRA, (1995). "Superionic Solid, Principle and Applications", North Holland Publish Co, Amsterdam, hal. 17-28.
- [9]. SMALLMAN RE, (1991). "Metalurgi Fisik Modern", Alih bahasa Sriati Djaprie, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [10]. VAN VLACK L.H, "Ilmu dan Teknologi Bahan", Alih bahasa Sriati Djaprie, Penerbit Erlangga,
- [11]. H.P. KLUG and L.E. ALEXANDER, "X-Ray Diffraction Procedures" (1954), John Wiley & Son, New York, 755-786.
- [12]. W.K. LEE, J.F. LIU and A.S NOWICK, (1991). *Phys Rev Lett*, **67** 1559-1561.