

UJI KEKERASAN DAN PEMERIKSAAN MIKROSTRUKTUR Zr-2 DAN Zr-4 PRA IRADIASI

Martoyo^{*)}, Nusin Samosir^{*)}, Usman Sudjadi^{*)}

^{*)}Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir -BATAN

ABSTRAK

UJI KEKERASAN DAN PEMERIKSAAN STRUKTUR MIKRO BAHAN KELONGSONG ZIRKALOI-2 DAN ZIRKALOI-4 PRA IRADIASI. Telah dilakukan pemeriksaan metalografi dan uji kekerasan zirkaloi-2 dan zirkaloi-4 pra iradiasi untuk mengetahui unjuk kerja kelongsong bahan bakar pra dan pasca iradiasi baik untuk kelongsong bahan bakar LWR maupun PHWR. Hasil uji kekerasan dan pemeriksaan mikrostruktur sebagai data banding dan evaluasi dengan bahan zirkaloi 2-dan zirkaloi-4 pasca iradiasi.. Pemeriksaan mikro struktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron Skanning (SEM), sedangkan uji kekerasan dilakukan dengan alat uji kekerasan Vickers. Hasil uji Kekerasan dan pengamatan mikrostruktur Zirkaloi-4 memperlihatkan baik kekerasan penampang tegak lurus arah arah rol maupun searah dengan arah rol mempunyai kekerasan yang sama yaitu 219 HVN juga bentuk dan ukuran sruktur mikro memperlihatkan hampir sama. Sedangkan zirkaloi-2 (diameter 20 mm) baik arah horizontal maupun arah vertikal mempunyai kekerasan yang sama yaitu : 258 HVN demikian juga bentuk dan ukuran struktur mikronya. Zirkaloi-2 (diamater 12,3 mm) mempunyai kekerasan yang berbeda antara arah horisontal dan vertikal yaitu 252 HVN dan 236 HVN, demikian juga bentuk dan ukuran struktur mikronya relatif berbeda.

Kata kunci : zirkaloi, mikrostruktur, kekerasan.

PENDAHULUAN

Sesuai dengan Program Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) dalam memenuhi fokus Agenda Riset Nasional: Selesainya kajian teknologi dan ekonomi bahan bakar nuklir, dan Sasaran Utama Batan: *Science and Technology Base* Bidang Nuklir, serta tersedianya dokumen teknis pengaruh iradiasi terhadap sifat mekanik dan perubahan struktur mikro Zr-2 dan Zr-4 dan tersedianya dokumen uji pasca iradiasi. Jadi penelitian ini adalah penelitian pendahuluan sebelum iradiasi dan hasilnya sebagai data pembanding dan bahan evaluasi terhadap sifat-sifat Zr-2 dan Zr-4 pasca iradiasi, khususnya sifat mekanik (kekerasan) dan struktur mikro.

TINJAUAN PUSTAKA

Tujuan penelitian adalah penguasaan teknologi uji pasca iradiasi bahan bakar dan bahan struktur. Dengan perolehan data hasil uji pra iradiasi dan pasca iradiasi antara lain struktur mikro, makro dan kekerasan bahan struktur yang dapat memberikan informasi baik pada bagian modeling maupun bagi pabrikasi untuk pengembangan bahan bakar selanjutnya. Juga data uji pra dan pasca iradiasi dapat mengetahui integritas bahan bakar dan bahan struktur selama diiradiasi di reaktor.

Untuk mencapai sasaran dan tujuan penelitian dilakukan dengan metoda tinjauan pustaka, pemeriksaan secara metalografi dan uji kekerasan bahan struktur kelongsong zirkaloi-2 dan zirkaloi-4.

Pemakaian zirkonium dan paduannya sebagai kelongsong bahan bakar nuklir dimulai awal tahun 1950 karena mempunyai keunggulan serapan lintang neutron rendah, kekuatan tinggi dan ketahanan korosi temperatur tinggi sedangkan kelemahannya keuletan rendah, ketahanan korosi rendah, harga tinggi dan kesulitan pabrikan. Perbandingan kekuatan dan ekonomi neutron berbagai logam dibandingkan dengan zirkonium dapat dilihat pada Tabel 1.

Sifat-sifat fisika zirkonium, pada diagram fasa dapat dilihat pada temperatur kamar hingga temperatur 865 °C, fasa α dengan unit sel hcp, dari temperatur 865 °C hingga 1845 °C, fasa β dengan unit sel bcc.

Tabel 1. Ekonomi neutron berbagai logam dibandingkan dengan Zr. (1)

Base Metal	UTS , 300°C(MPa)	Macroscopic Thermal Neutron section/cm ⁻¹	Serapan Neutron relatif untuk tegangan desain yang diberikan
Zr	900	0,010	1
Be	350	0,001	0,5
Mg	90	0,005	5
Al	90	0,014	14
Fe	1100	0,170	14
Ni	1100	0,310	25
Ti	1000	0,200	28

Sifat-sifat mekanik zirkonium, kekuatan dapat bertambah dengan pengerjaan dingin, akan tetapi temperatur rekristalisasi adalah 400°C- 500°C. Sifat-sifat kimia, penambahan jumlah oksigen menambah kekuatan dan penggetasan zirkonium sedangkan penambahan hidrogen (zirkonium hibrida) mengurangi keuletan. Ketahanan korosi zirkonium murni mempunyai ketahanan korosi yang baik dalam air pada temperatur tinggi akan tetapi material dapat bertambah berat. Untuk Zirkonium kemurnian tinggi (*very high purity, VHP*) pada temperatur 316 °C tidak terjadi kerusakan selama 200 hari, akan tetapi dengan kenaikan temperatur menjadi 360 °C zirkonium *VHP* telah rusak kurang dari 7 hari. Untuk mengantisipasi kelemahan zirkonium *VHP* dikembangkan paduan zirkonium yang dapat menaikkan kekuatan, ketahanan korosi dan keunggulan lainnya. Adapun paduan zirkonium yang sudah dikembangkan dan ada dipasaran, dengan komposisi seperti pada Tabel 2, sedangkan sifat-sifat dari bahan kelongsong yang berbeda dapat kita lihat pada Lampiran Tabel 3(1).

Tabel.2 Komposisi Komersial Paduan Zr (1)

Paduan	Zr	Sn	Fe	Cr	Ni	Nb	O
Zr-2	98,8	1,5	0,12	0,10	0,05	---	0,13
Zr-4	98,2	1,3	0,22	0,10	---	---	0,13
Zr-1Nb	99					1	
Zr-2.5Nb	97,5					2,5	
Zr-3Nb-1Sn		1,0				2,8	

Penggunaan Kelongsong, dan dimensi zirkaloi-2 dan zirkaloi-4 pada reaktor nuklir *Heavy Water Reactor (HWR)* dan *Light Water Reactor (LWR)* dengan bahan bakar UO_2 dapat dilihat pada pada Tabel 4 .

Tabel 3. Spesifikasi elemen bakar nuklir HWR & LWR (2)

Reaktor	HWR				LWR	
	Cirene	Candu			PWR	BWR
		Gentily 1	Pickering	Gentily 2	17x17	8x8
Bahan bakar	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2
Bahan struktur	Zr-2	Zr-4	Zr-4	Zr-4	Zr-4	Zr-2
Berkas el. bakar :						
-panjang ,mm	500	500	495,3	495,3	4058	4500
-tampang lintang	$\varnothing 104,6$	$\varnothing 102,41$	$\varnothing 102,49$	$\varnothing 102,49$	214x214	139x139
Batang el. bakar :						
-diameter luar	20	19,74	15,19	13,08	9,5	12,3
-tebal kelongsong	0,51	0,49	0,38	0,38	0,57	0,86
-Jumlah /berkas	18	18	28	37	264	62

METODA, BAHAN DAN TATA KERJA

Metoda penelitian adalah secara metalografi menggunakan mikroskop elektron skening dan uji kekerasan dengan metoda Vickers.

Bahan dipotong seperti kondisi pada Tabel 5.

Tabel 5. Bahan dan kondisi sampel uji.

Bahan strukturPaduan	Posisi
Zr-2-Cirene	\leftrightarrow
$\varnothing = 20$ mm	\downarrow

Bahan strukturPaduan	Posisi
Zr-2 Ø = 12,2 mm	↔
	↓
Zr-4-pelat	↔
	↓

Tata kerja

Sampel Zr-2 dipotong dengan ukuran 10x10 mm, kemudian dibelah dua baik yang diameter 20 mm maupun yang diameter 12,3 mm. Sampel Zr-4 dipotong dengan ukuran 10 mm x 5 mm. Kemudian keTIGa macam sampel dipreparasi dengan cara standar melalografi yaitu dimounting dengan resin, dengan posisi penampang yang dimetalografi seperti pada Tabel 5. Kemudian dihampelas dengan silikon karbida berturut turut dengan grit 400, 800, 1200, 2000 dan 2400 serta menggunakan media pendingin air. Selanjutnya dipoles dengan pasta intan berturut turut degan grit 6 µm, 3 µm, 1 µm dan 1/4 µm dengan media pendingin *red lubricant*, dan dietsa dengan reagen *Keller*, kemudian dipreperasi dengan *sputter*(lapis tipis emas) agar konduktif dan dapat diamati dengan *microscop elektron scanning*. Hasil pengamatan dengan Mikroskop elektron scanning dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 3. Hasil uji kekerasan dengan metoda *Vickers HV2* hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan struktur mikro pelat Zr-4 Gambar 1 memperlihatkan bahwa baik penampang tegak lurus arah rol maupun searah dengan arah rol tidak tampak perbedaan yang mencolok baik bentuk maupun kedalaman *dimple* hasil etsa, keadaan ini juga didukung hasil uji kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 6, kedua penampang mempunyai hasil uji kekerasan yang sama yaitu 219 HV. Hasil pemeriksaan struktur mikro Zr-2 diameter 12.3 mm memperlihatkan perbedaan baik penampang horisontal maupun melintang Gambar 2, juga uji kekerasan menghasilkan kekerasan yang berbeda yaitu 258 dan 236 HV, keadaan ini diduga karena bahan telah mengalami pengerjaan dingin pada proses tahap akhir saat pabriksi. Hal ini juga ditunjukkan oleh struktur mikro yang lebih reaktif terhadap etsa arah penampang horisontal dibandingkan dengan penampang melintang karena masih adanya deformasi; kekerasan penampang lintang lebih rendah juga karena tebal kelongsong relatif tebal 0,8 mm, sehingga kekerasan cenderung hanya dipermukaan penampang horisontal. Hasil pemeriksaan struktur mikro Zr-2 kelongsong cirene Gambar 3, baik penampang horisontal maupun penampang lintang, tidak menunjukkan perbedaan yang berarti baik bentuk maupun ukuran *dimple* sebagai reaksi dengan etsa. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh hasil uji

kekerasan pada Tabel 5, baik penampang horisontal maupun penampang lintang mempunyai kekerasan yang sama 258 HV. Dibandingkan hasil penelitian dan literatur [2], menunjukkan hasil yang sama, bahwa zirkaloi- 2 mempunyai kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan zirkaloi-4 yaitu pada temperatur kamar *Ultimate Strength/Yield Strength* adalah 77ksi/62 ksi dan 65 ksi/50 ksi. Pada penelitian ini dinyatakan dengan kekerasan yaitu 258 HV dan 219 HV masing-masing untuk zirkaloi-2 dan zirkaloi-4. Untuk mendapatkan data yang lebih representatif pada penelitian selanjutnya akan dilakukan penelitian dengan variabel temperatur dan waktu.

Tabel 6. Hasil uji kekerasan

Paduan	Posisi	Kekerasan Vickers (HV2)
Zr-4-pelat Tebal : 2 mm,	↔	219
	↓	219
Zr-2 Ø = 12,3 mm, tebal = 0,86 mm	↔	258
	↓	236
Zr-2-Cirene Ø = 20 mm, tebal = 0,51mm	↔	258
	↓	258

KESIMPULAN

Hasil uji Kekerasan maupun pengamatan mikro struktur pada Zr-2(diameter 20 mm) dan Zr-4 (tebal 2 mm)pada penampang horisontal dan vertikal tidak terdapat perbedaan yang mencolok. Kekerasan kedua bahan kelongsong sebesar 258 HV dan 219 masing-masing untuk Zr-2 dan Zr-4. Pengamatan struktur mikro Zr-2 untuk diameter 12,3 mm menunjukkan perbedaan baik penampang horisontal maupun vertikal. Sampel ini mempunyai kekerasan yang berbeda pada penampang horisontal sebesar 258 HV dan penampang vertikal sebesar 236 HV.

DAFTAR PUSTAKA

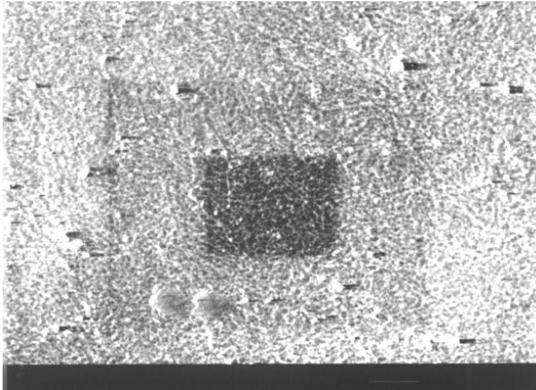
1. BENJAMIN LUSTMAN, & FRANK KERZE, JR, "The Metallurgy of Zirconium", first Ed. Mc.Graw –Hill Book Company, Inc. 1955.
2. S.WAS, M.ATZMON, L.WANG, "A Novel Approach to Material", Development for Advanced Reactor system, University of Michigan, 1992.

Lampiran 1.

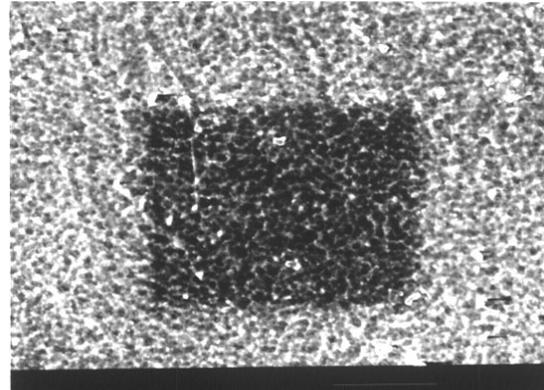
Tabel 3. Sifat-sifat bahan kelongsong yang berbeda. (1)

Sifat	Al	Zr	Zr-2	SS 347
Densiti g/cc	2,71	6,5	6,55	7,98
Meltng T, °C	660	1845	1830	1399
Trans T.T, °C		862	1000	
Rekris. T, °C	150-200		550-600	
A, x 10 ⁻⁴ /°C				
25-100 °C	23,5	6,38		16,5
25-200 °C	24,6			
25-300 °C	25,6	7,61		
25-500 °C				
25-600 °C		9,46		18
25-700 °C				
k-cal/cm-s- °C				
25 °C	0,53	0,050	0,036	
50 °C		0,050		
100 °C		0,049	0,034	0,038
200 °C			0,033	
300 °C		0,042	0,033	
538 °C				0,051
Termal n x section-b	0,22	0,18	>0,18	>2,5
UTS -psi				
25 °C	13.000	34.800	68.600	90.000
100 °C	9.700			
200 °C	6.000			
300 °C	2.500	18.000		
400 °C	1.300	12.000		
500 °C		8.000	22.000	65.000
YS-psi				
25 °C	5.000	9.900	44.800	35.000
100 °C	4.100			
200 °C	3.000			
300 °C	1.500	6.000		
400 °C	800	4.800		
500 °C		5.000	10.500	31.000
Regangan-%				
25 °C	45	47	22	40
100 °C	57			
200 °C	65			
300 °C	90	52		
400 °C	93	50		
500 °C		48	36	35

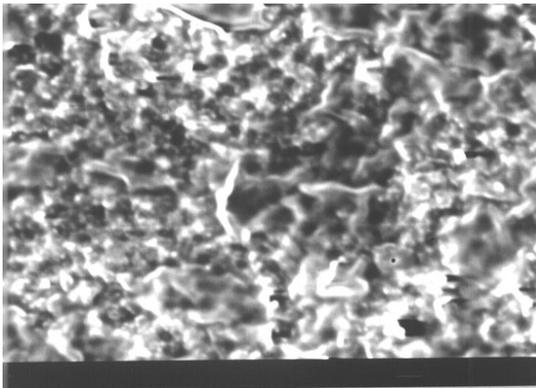
Lampiran 2.



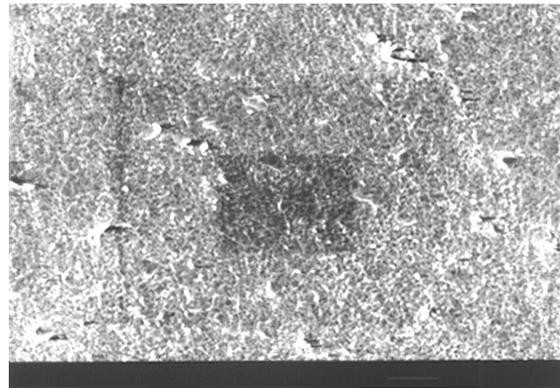
Gambar 1A.Mikrostruktur Zr-4, 1000x



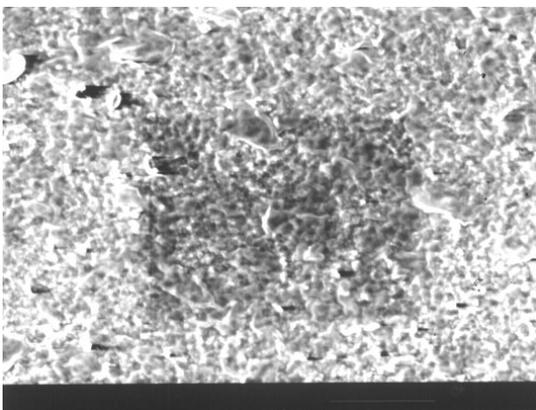
Gambar 1.B.Mikrostruktur Zr-4, 2000x



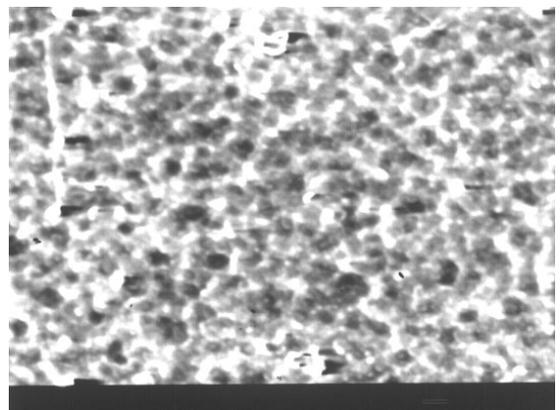
Gambar 1C.Mikrostruktur Zr-4, 5000x



Gambar 1D.Mikrostruktur Zr-4, 1000x



Gambar 1E.Mikrostruktur Zr-4, 2000x

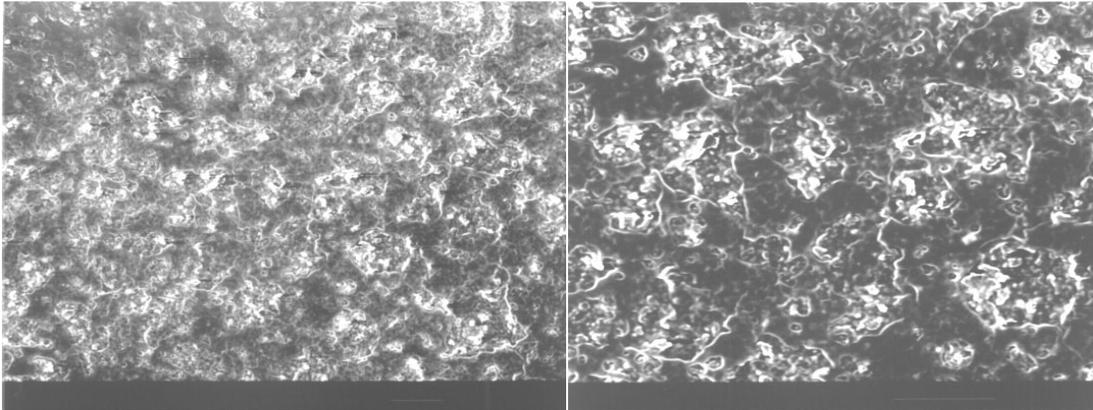


Gambar 1F.Mikrostruktur Zr-4, 5000x

Gambar 1.Struktur mikro Zr-4 dengan mikroskop elektron skanning, dietsa dengan Reagen Keller

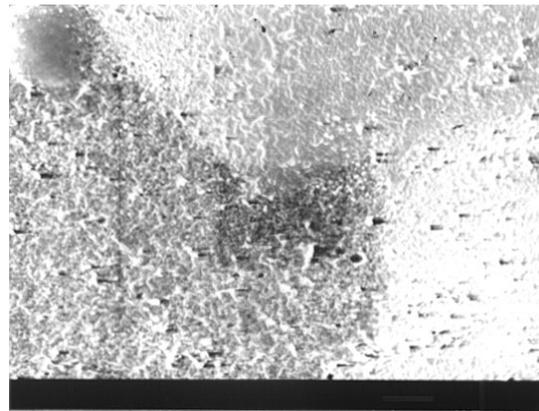
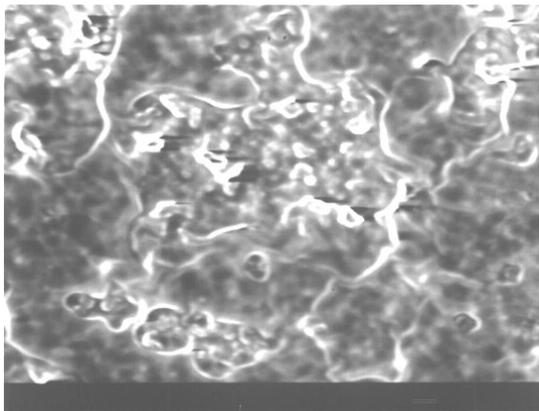
(A-C) Penampang tegak lurus arah rol

(D-F) Penampang searah dengan arah rol



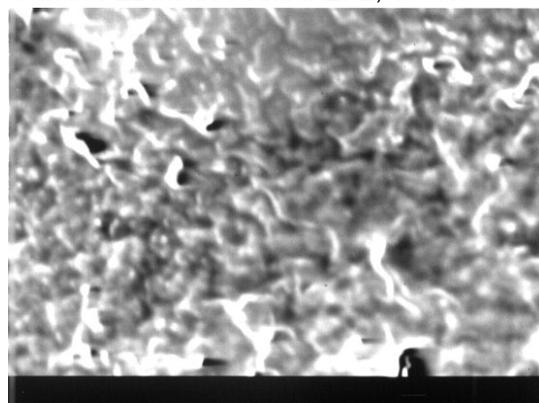
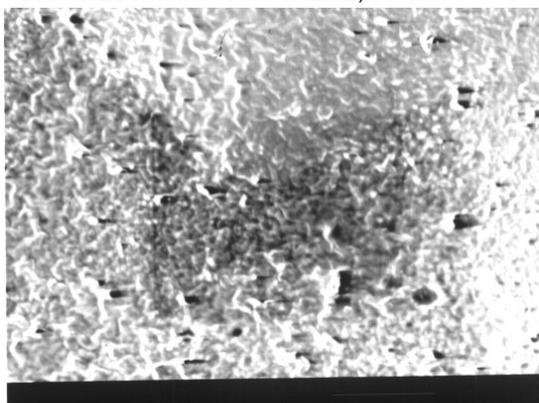
Gambar 2A.Mikrostruktur Zr-2, 1000x

Gambar 2.B.Mikrostruktur Zr-2, 2000x



Gambar 2C.Mikrostruktur Zr-2, 5000x

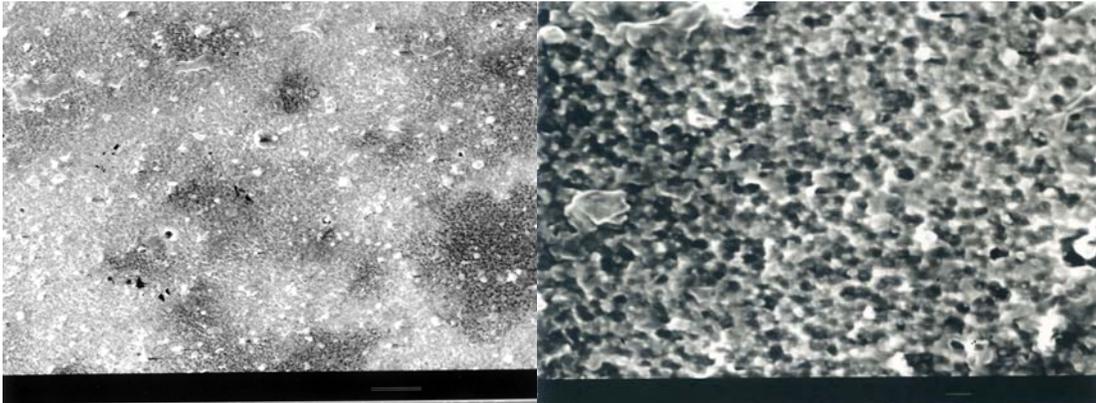
Gambar 2D.Mikrostruktur Zr-2, 1000x



Gambar 2E.Mikrostruktur Zr-2, 2000x

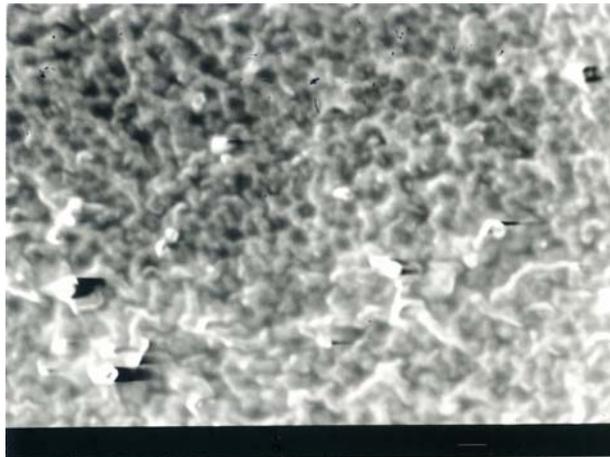
Gambar 2F.Mikrostruktur Zr-2, 2000x

Gambar 2.Struktur mikro Zr-2 dengan mikroskop elektron skanning , dietsa dengan Reagen Keller
(A-C) Penampang tegak lurus arah rol
(D-F) Penampang searah dengan arah rol



Gambar 3A.Mikrostruktur Zr-2, 1000x

Gambar 3B.Mikrostruktur Zr-2, 5000x



Gambar 3C.Mikrostruktur Zr-2, 5000x

Gambar 3 .Mikrostruktur Zr-2 (Kelongsong Cirene)

A & B : Penampang tegak lurus arah rol

C. : Penampang searah dengan arah rol