

## PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP SIFAT KEKERASAN PADUAN Zr – Sn – Fe - Nb

Djoko Hadi Prajitno dan Putu Sukmabuana  
Puslitbang Teknik Nuklir-BATAN

### ABSTRAK

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP SIFAT KEKERASAN PADUAN Zr – Sn – Fe – Nb.** Penelitian perlakuan panas paduan logam Zirkonium Zr-Sn-Fe-Nb pada temperatur 700-900°C dengan waktu pemanasan 1 - 4 jam, hasil peleburan menggunakan tungku pelelehan busur tunggal dengan atmosfer gas argon telah dilakukan. Hasil analisis dengan difraksi sinar X menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk didominasi oleh fasa- $\alpha$ . Hasil karakterisasi dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa naiknya temperatur pemanasan akan mengubah struktur mikro paduan logam dari basket wave menjadi *basket wave* dengan ukuran yang lebih besar, sedangkan bertambah lamanya waktu pemanasan akan menaikkan jumlah pembentukan struktur mikro *basket wave* yang besar. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dan waktu perlakuan panas akan menurunkan kekerasan paduan Zr-Sn-Fe-Nb.

**Kata kunci :** logam, zirkaloy, perlakuan panas, kekerasan

### ABSTRACT

**THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE HARDNESS OF Zr-Sn-Fe-Nb ALLOYS.** The effect of heat treatment on zircalloy Zr-Sn-Fe-Nb at temperatures of 700 to 900°C and heating times of 1 to 4 hours produced by single arc melting furnace method under argon atmosphere has been carried out. X-ray diffraction examination showed that after heat treatment, zircalloy Zr-Sn-Fe-Nb contained the  $\alpha$ -phase primarily. Based on the optical microscope characterization, it was shown that the increase of temperature of heat treatment of zircalloy Zr-Sn-Fe-Nb transformed the smaller basket wave microstructures into larger ones, while the increase of heating time could lead to the increase of large basket wave microstructures formation. Microhardness examination show that the hardness of alloy decreased with increasing temperature and time of heat treatment.

**Key words :** metal, zircalloy, heat treatment, hardness

## PENDAHULUAN

Bahan zirkonium banyak digunakan dalam industri nuklir karena mempunyai luas penampang lintang serapan neutron termal yang rendah yaitu sebesar 0,18 barn. Zirkonium mempunyai titik leleh yang relatif tinggi yaitu 1850°C, dan mengalami transformasi fasa pada temperatur 863°C. Zirkonium murni mempunyai dua fasa yaitu fasa  $\alpha$  yang stabil di bawah temperatur 863°C dan fasa  $\beta$  yang stabil di atas temperatur 863°C [1]. Pemakaian logam murni zirkonium untuk bahan struktur tidak menguntungkan. Walaupun zirkonium murni pada batas-batas tertentu mempunyai kelebihan tetapi juga mempunyai kelemahan pada sifat mekaniknya dan sifat kimianya. Untuk menaikkan sifat-sifat tersebut maka logam zirkonium perlu dipadu dengan logam lain untuk memperbaiki unjuk-kerjanya. Beberapa unsur padu yang digunakan untuk pembuatan paduan zirkonium adalah Fe, Cr, Ni, Sn, Nb, dan Mo. Penambahan keenam unsur padu tersebut menghasilkan berbagai paduan zirkonium seperti diperlihatkan pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Paduan zirkonium dan komposisi pepadunya

Paduan	Persen berat				
	Sn	Fe	Cr	Ni	Nb
Zirkaloy - 2	1.5	0,15	0,07	0,05	
Zirkaloy - 4	1.5	0,20	0,07		
Zr-1% Nb					1
Zr-2.5% Nb					2,5
Ozhennite	0,2	0,1		0,1	0,1
Zr-Cr-Fe		0,15	0,1		
Zr-Nb-Sn	1,0	0,40			3,0
Zr-Sn-Fe-Nb	1,0	0,5			1,0

Zirkaloy –2 banyak digunakan sebagai bahan kelongsong elemen bakar nuklir pada industri pembangkit listrik tenaga nuklir jenis BWR, sedangkan zirkaloy – 4 banyak digunakan untuk bahan struktur reaktor jenis PWR [2]. Pada saat sekarang ini, ada kecenderungan usaha untuk menaikkan efisiensi elemen bakar nuklir dengan cara menaikkan *burnup* [3]. Naiknya *burnup* pada kelongsong elemen bakar nuklir akan menurunkan unjuk kerja kelongsong yang pada akhirnya akan membatasi umur dari elemen bakar nuklir [4,5].

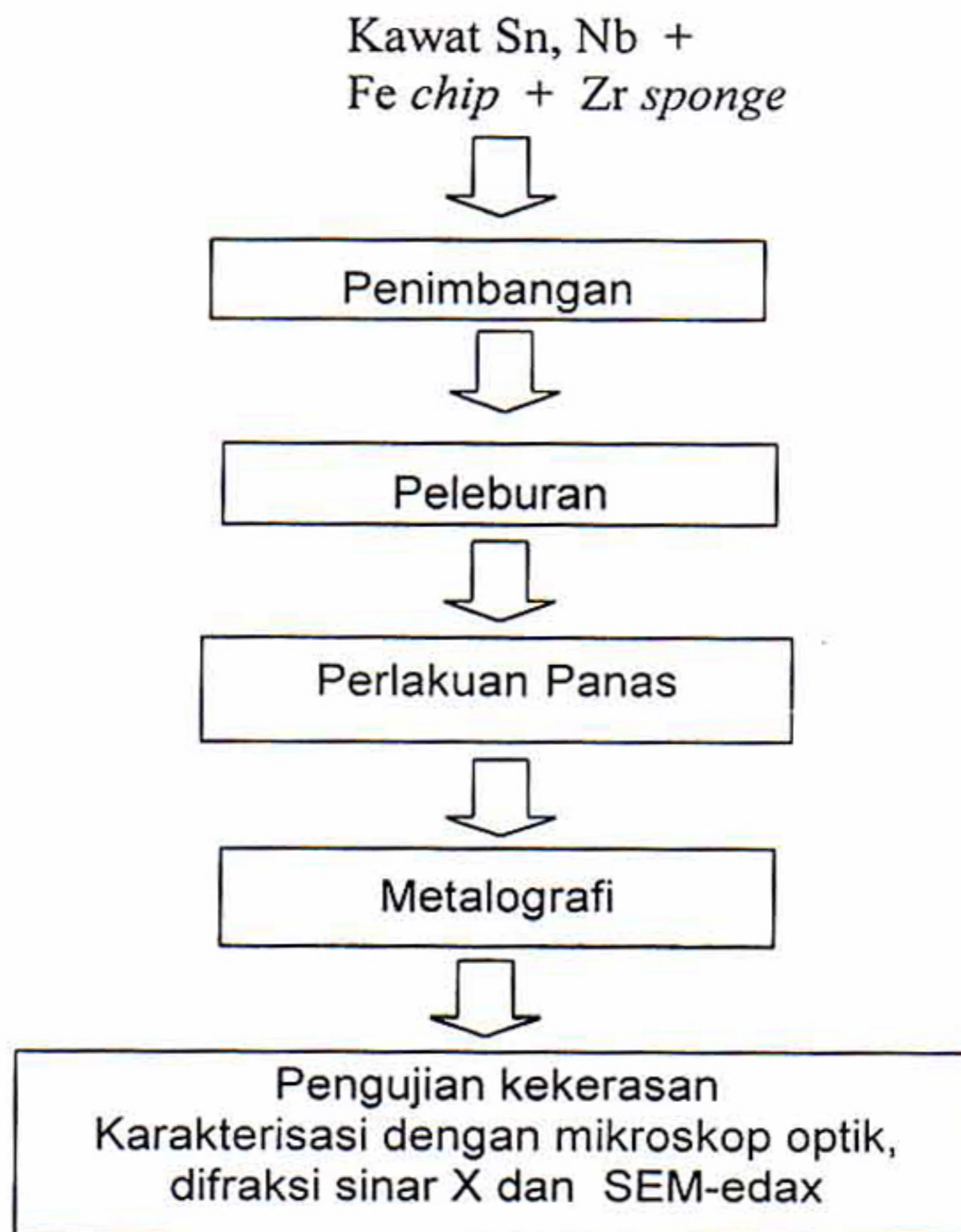
Pada dasarnya ada dua cara untuk meningkatkan unjuk kerja kelongsong elemen bakar nuklir yaitu dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*) paduan zirkaloy yang sudah ada dan yang kedua dengan memodifikasi paduan zirkaloy dengan cara mengubah komposisi unsur pepadunya dan/atau mengembangkan paduan zirkaloy baru [6]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan niobium dan pengurangan jumlah Sn pada zirkaloy-4 akan menaikkan unjuk kerja zirkaloy-4 [7,8,9].

Pada makalah ini akan dibahas pengaruh perlakuan panas dan karakterisasi paduan zirkaloy Zr-Fe-Sn-Nb dengan berbagai komposisi Nb terhadap sifat kekerasan hasil peleburan zirkalloy dengan tungku busur listrik. Perlakuan panas dilakukan pada temperatur 700 sampai 900°C dengan waktu pemanasan selama 1 sampai 4 jam.

## TATA KERJA

Pembuatan paduan dilakukan dengan cara melebur logam Zr-Sn-Fe-Nb. Hasil peleburan cuplikan yang berupa ingot dilebur lagi sampai 4 kali untuk memperoleh hasil yang homogen, kemudian sampel dipotong dengan ketebalan masing-masing 2 mm. Potongan cuplikan diperiksa secara metalografi dan dilakukan karakterisasi. Untuk mengetahui fasa-fasa yang ada dalam paduan, cuplikan diperiksa dengan difraksi sinar X dengan menggunakan *Shimadzu X-ray diffractometer*. Mikroskop optik *NIKON MM-22* digunakan untuk mendapatkan citra struktur mikro paduan

zirkonium. Kemudian paduan logam tersebut di *heat-treatment* pada temperatur dan waktu yang bervariasi. Pemanasan cuplikan dilakukan pada temperatur 700-900°C dengan waktu pemanasan 1 sampai dengan 4 jam. Sampel hasil *heat treatment* tersebut kemudian dikarakterisasi seperti prosedur sebelumnya. Metode pengujian kekerasan menggunakan cara *micro hardness tester* (Vickers) merk Zwick dengan beban pengujian sebesar 0,5 kg dan waktu indentasi selama 15 detik. Untuk menganalisis unsur pepadu dalam paduan zirkonium digunakan SEM-edax jeol 5400. Gambar 1 memperlihatkan diagram alir percobaan.



Gambar 1. Diagram alir percobaan

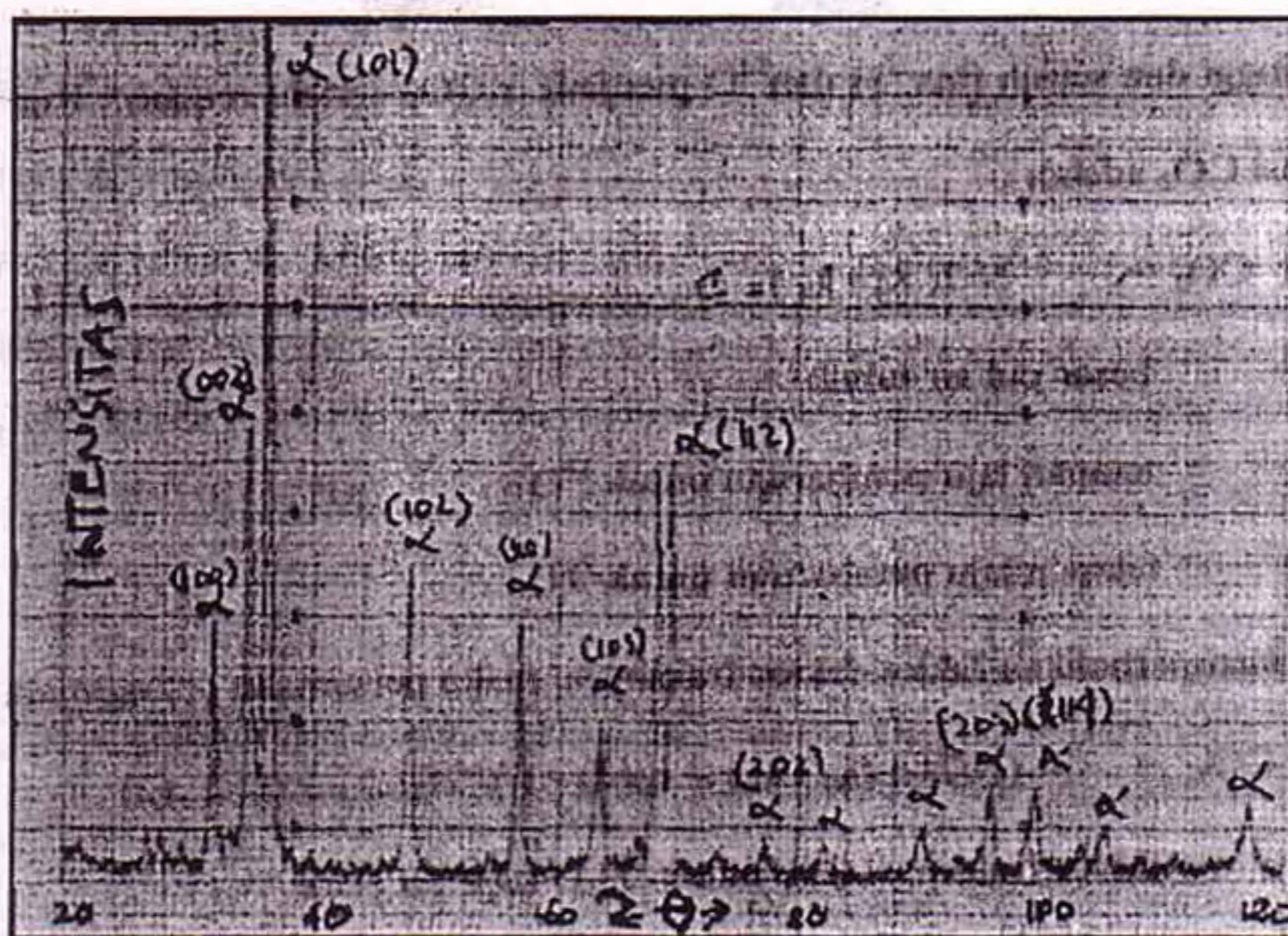
## HASIL

Pada Tabel 2 diperlihatkan komposisi nominal dan terukur paduan Zr-Sn-Fe-Nb dalam persen berat. Komposisi nominal adalah komposisi paduan hasil perhitungan, sedangkan komposisi terukur merupakan hasil pemeriksaan dengan edax. Dari tabel tersebut terlihat bahwa jumlah komposisi setiap unsur sebelum dan sesudah dilebur mengalami perubahan. Secara garis besar kadar unsur-unsur Zr dan Nb mengalami kenaikan setelah peleburan sedangkan unsur Sn dan Fe mengalami penurunan.

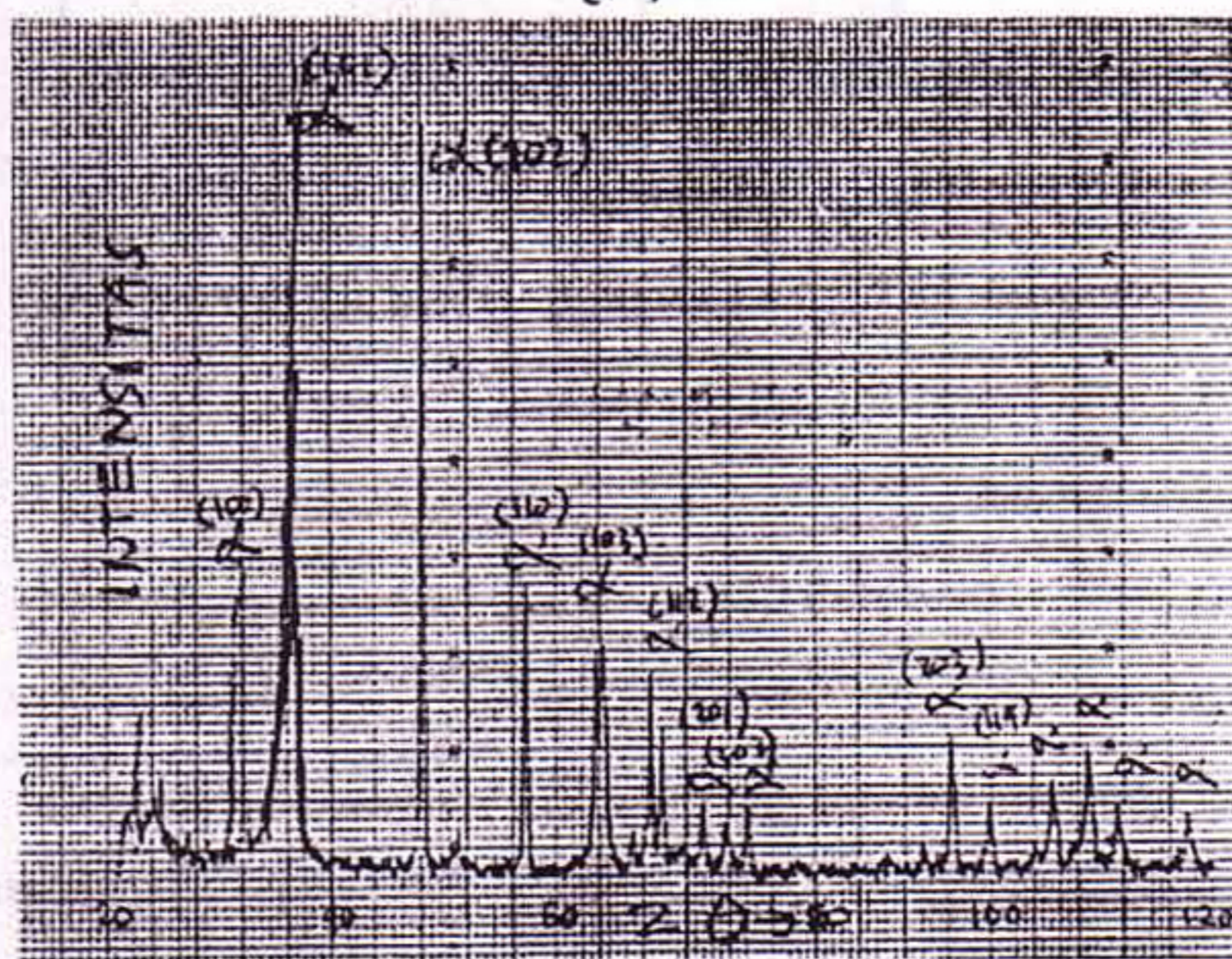
Tabel 2. Hasil analisis komposisi dengan SEM-edax

Paduan	Persen Berat			
	Zr	Sn	Fe	Nb
<b>Zr-2w/oSn-0,2 w/oFe-1w/oNb</b>				
Nominal	96.8	2	0.2	1
Terukur	96.87	1.89	0.3	0.94
<b>Zr-2w/oSn-0,2 w/oFe-3w/oNb</b>				
Nominal	94.8	2	0.2	3
Terukur	94.97	1.65	0.28	3.10
<b>Zr-2w/oSn-0,2 w/oFe-5w/oNb</b>				
Nominal	92.8	2	0.2	5
Terukur	92.95	1.75	0.23	5.07

Hasil karakterisasi dengan difraksi sinar X untuk identifikasi fasa-fasa yang ada dalam paduan logam zirkaloy sebelum dan sesudah pemanasan dapat dilihat pada Gambar 2 (a) dan (b). Dari gambar tersebut terlihat bahwa puncak -puncak yang muncul baik sebelum dan sesudah perlakuan panas masih menunjukkan fasa  $\alpha$  yang dominan



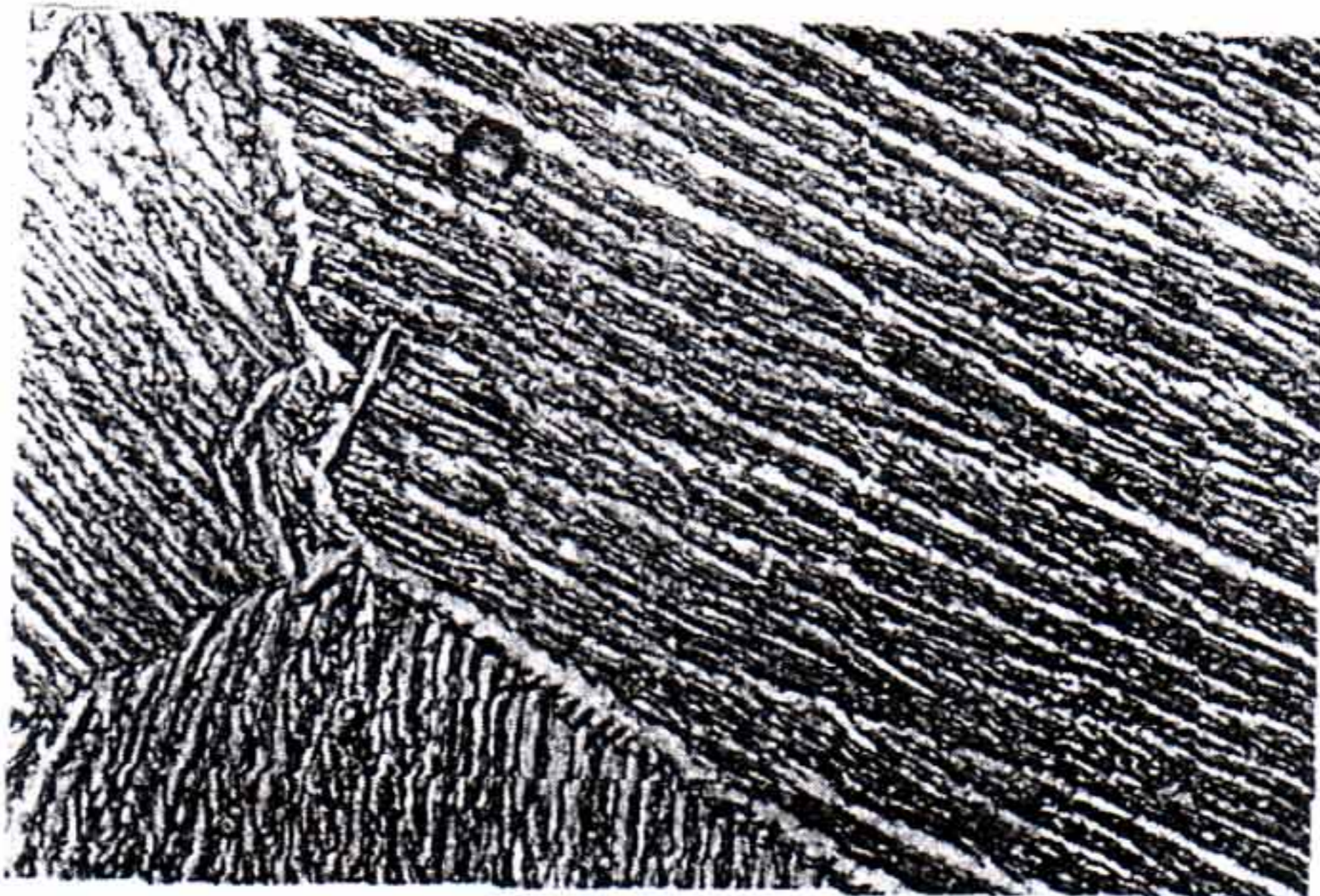
(a)



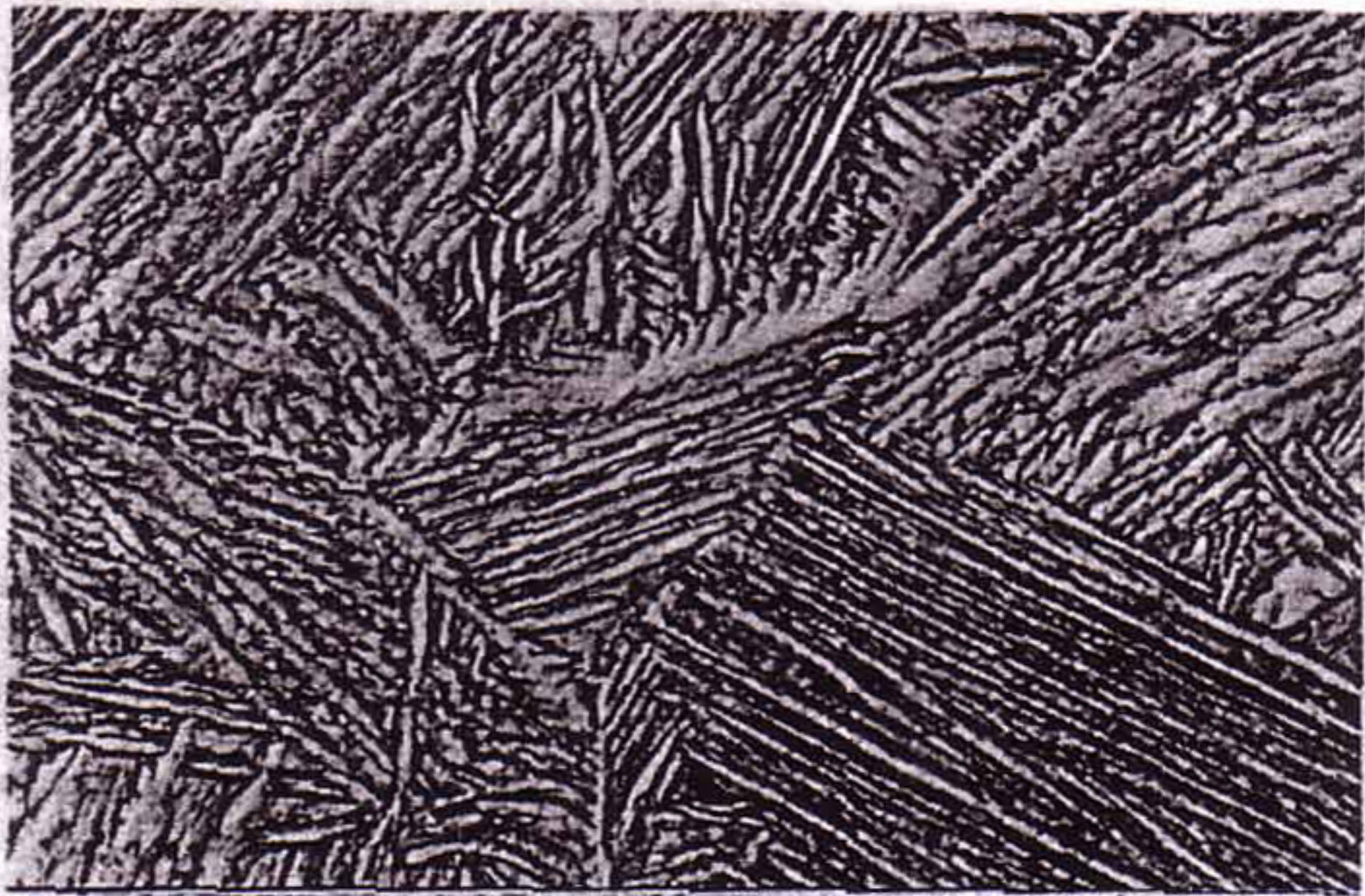
(b)

Gambar 2. Hasil difraksi sinar- X (a) sampel sebelum dan (b) sesudah mendapat perlakuan panas pada 700°C

Hasil karakterisasi dengan mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 3-6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa paduan logam zirkonium hasil peleburan mempunyai struktur mikro *parallel plate* pada daerah pinggir dan struktur *basket wave* pada daerah tengah. Struktur mikro *parallel plate* mempunyai ciri dan karakteristik bentuk pelat-pelat panjang dan sejajar, sedangkan pelat dari struktur mikro tersebut akan membesar setelah mengalami pemanasan seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 sampai 6 diperlihatkan mikrostruktur paduan setelah mengalami pemanasan pada berbagai temperatur dan waktu.



Gambar 3. Paduan Zr-2w/o Sn-0,2w/oFe-1w/oNb hasil pengecoran perbesaran 200 x



(a)



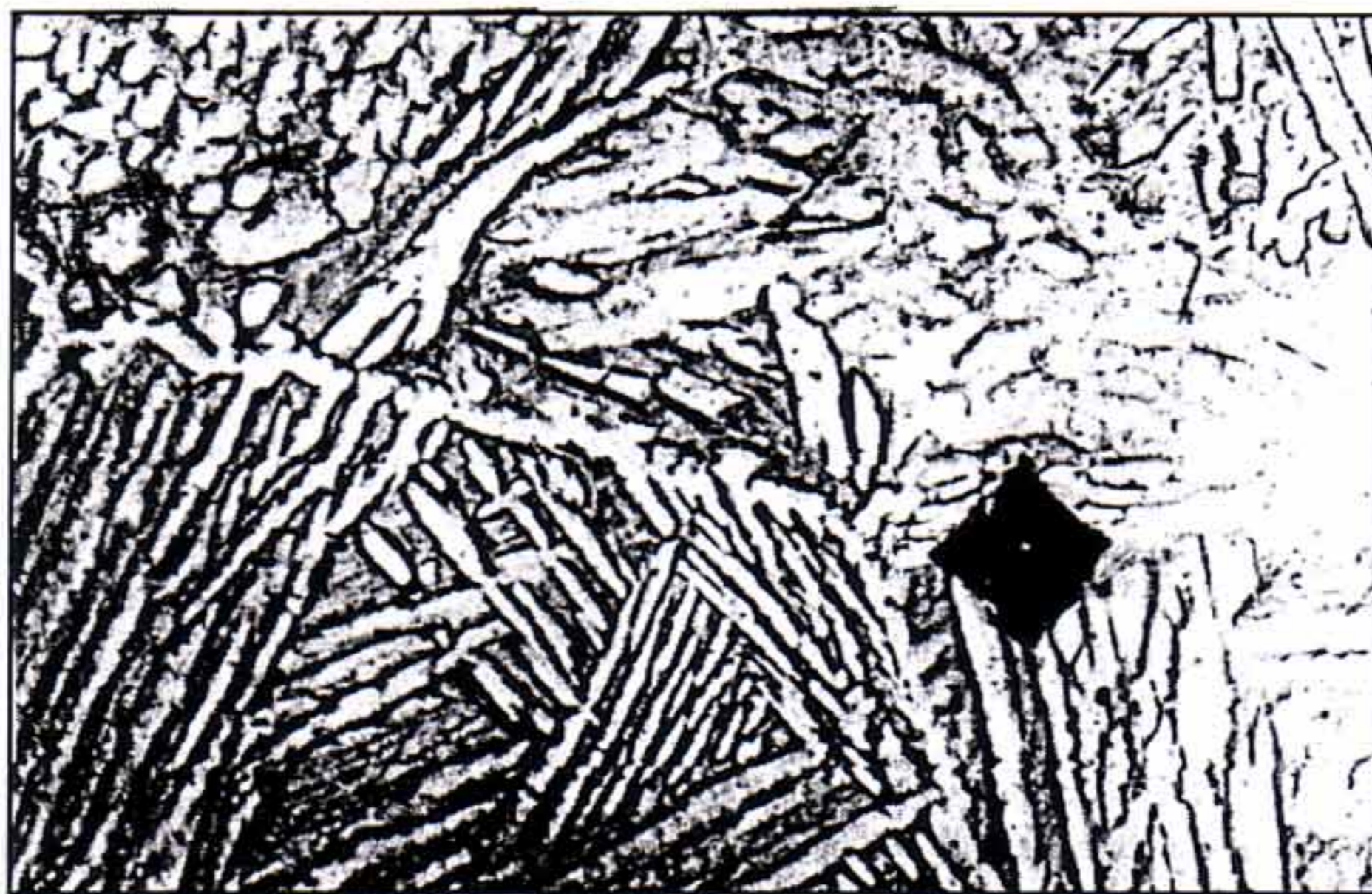
(b)

Gambar 4. Paduan Zr-2w/oSn-0,2w/0Fe-1w/oNb hasil pemanasan pada 700°C pembesaran 200 x (a) foto pada daerah tengah, (b) foto daerah lain, tanda hitam hasil indentasi pengujian kekerasan.



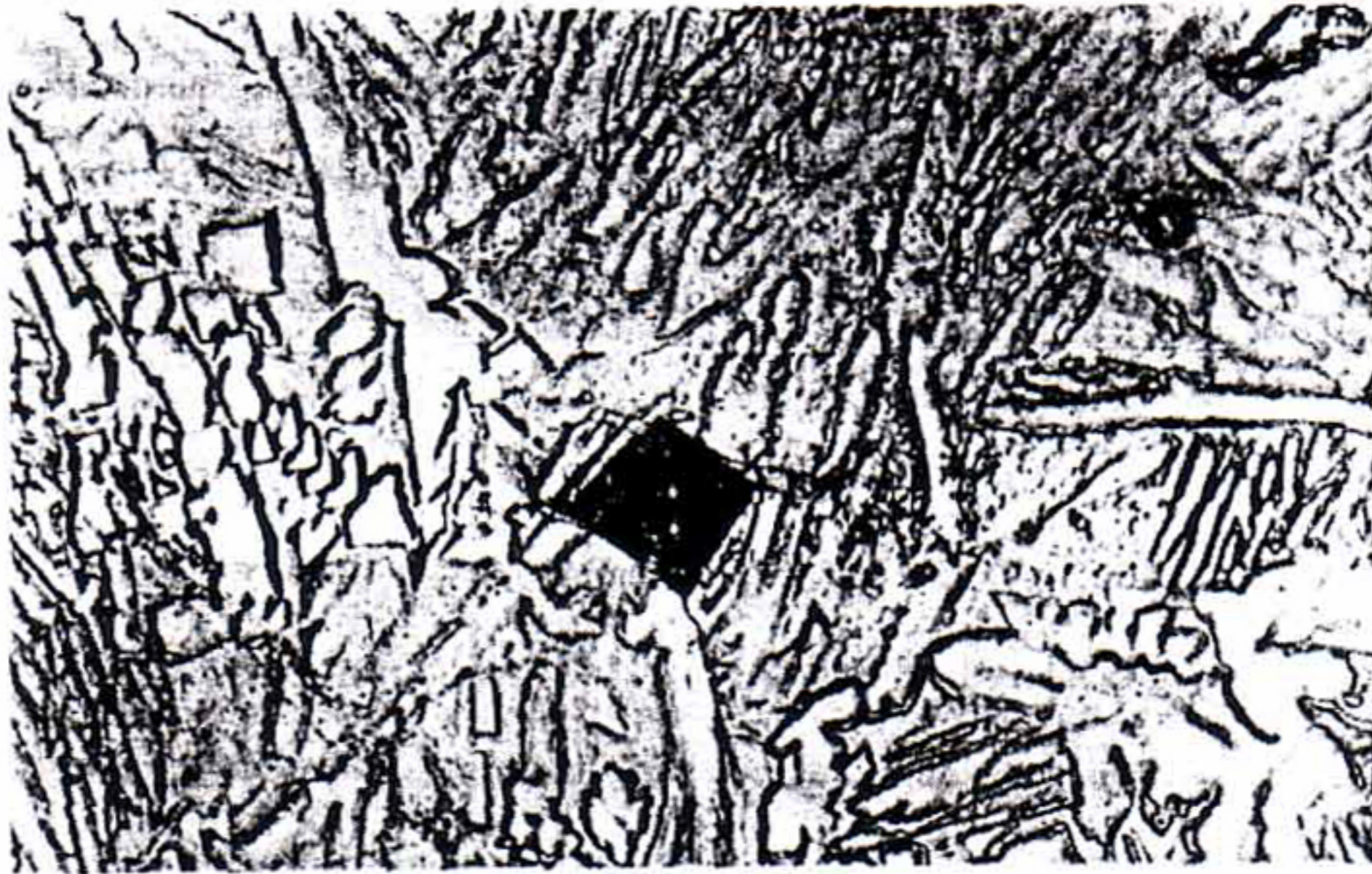


(a)



(b)

Gambar 5. Paduan Zr-2w/oSn-0,2w/oFe-1w/oNb hasil pemanasan pada 800°C perbesaran 200 x a) foto pada daerah pinggir b) foto daerah lain, tanda hitam hasil indentasi pengujian kekerasan



(a)



(b)

Gambar 6. Paduan Zr-2w/oSn-0,2w/oFe-1w/oNb hasil pemanasan pada 900°C perbesaran 200 x (a) foto pada daerah tengah (b) foto daerah lain, tanda hitam hasil indentasi pengujian kekerasan.

Hasil pengujian kekerasan mikro ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan dinyatakan dalam HV ( $\text{kg/cm}^2$ )

	700°C	800°C	900°C
<b>Hasil pengecoran</b>	525		
<b>1 jam</b>	524	521	517
<b>2 jam</b>	520	511	509
<b>3 jam</b>	512	506	495
<b>4 jam</b>	502	486	478

## PEMBAHASAN

Hasil analisis komposisi paduan menunjukkan terjadinya penurunan jumlah Sn dalam paduan. Hal ini terjadi karena titik leleh Sn yang rendah yaitu sekitar 400°C dibandingkan dengan zirkonium dengan titik leleh 1780°C, sehingga pada waktu proses peleburan ada kemungkinan terjadi penguapan logam Sn. Hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan fasa yang dominan adalah fasa  $\alpha$  zirkonium, yaitu hasil pendinginan paduan zirkonium dari fasa  $\beta$  yang stabil di atas temperatur 783°C. Pemanasan sampel hasil peleburan pada temperatur 700 sampai 900°C masih tetap didominasi oleh fasa  $\alpha$ . Hasil karakterisasi dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa mikrostruktur *parallel plate* dan *basket wave* yang mengalami pemanasan mempunyai ukuran yang lebih besar bila dibandingkan dengan sampel sebelum dipanaskan hal ini disebabkan oleh tumbuhnya butiran pada waktu pemanasan. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pemanasan zirkaloy pada berbagai temperatur dan waktu akan menurunkan kekerasan paduan zirkaloy. Hal ini

disebabkan oleh pemanasan tersebut akan menaikkan ukuran butiran dan kenaikan tersebut akan menurunkan kekerasan logam.

## KESIMPULAN

Dari hasil yang telah diuraikan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Terjadi penguapan Sn dalam paduan logam Zr-Sn-Fe-Nb selama proses peleburan
2. Fasa utama hasil peleburan perlakuan panas paduan Zr-2w/o Sn-0,2w/oFe-1w/oNb adalah  $\alpha$ -zirkonium dengan ukuran butir yang relatif kecil
3. Fasa utama hasil perlakuan panas paduan Zr-2w/o Sn-0,2w/oFe-1w/oNb adalah  $\alpha$ -zirkonium dengan ukuran butir yang relatif lebih besar
4. Struktur mikro paduan paduan Zr-2w/o Sn-0,2w/oFe-1w/oNb mempunyai bentuk *dendrit* dan *basket wave*
5. Naiknya temperatur dan waktu pemanasan paduan Zr-2w/o Sn-0,2w/oFe-1w/oNb akan cenderung menurunkan kekerasan paduan logam

## DAFTAR PUSTAKA

1. FIZZOTI,C., "Principle of Nuclear Fuel Production", Fuel Cycle Department, ENEA 1984: 2-20
2. BENYAMIN, M., "Nuclear Reactor Materials and Application", 1983: 299-350
3. LINGA MURTI, HUSSEIN, S and YOUN, H. Jung, Scripta Metallurgica, 19, ( 9) (1985), 1045-1050.
4. JOHN, H.S., "Introduction to Zirconium and Its Alloys" , Asm 1993: 781 - 785
5. TAKHESI, I. and YUTAKA, M., "Proceeding of the Fourth Intenational Symposium on Advanced Nuclear Energy Research " 1993: 523-527
6. HIROYUKI ,A., "Proceeding of the Fourth Intenational Symposium on Advanced Nuclear Energy Research" , 1993 : 523 – 526