J. Tek. Bhn. Nukl. ISSN 1907–2635
Vol. 1 No. 2 Juni 2005: 58–107

PENGARUH SIKLUS PROSES OKSIDASI-REDUKSI URANIUM OKSIDA TERHADAP DENSITAS DAN BUTIRAN SERBUK U_3O_8 DAN UO_2

Sigit*, Martoyo*, Ngatijo*, Rahmat Pratomo**, R. Didiek Herhady**
* Pusbangtek Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang – BATAN, Serpong
** Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju – BATAN, Yogyakarta

ABSTRAK

PENGARUH SIKLUS PROSES OKSIDASI-REDUKSI URANIUM OKSIDA TERHADAP DENSITAS DAN BUTIRAN SERBUK U_3O_8 DAN UO_2. Telah dilakukan proses oksidasi-reduksi dengan beberapa siklus terhadap serbuk uranium oksida dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh siklus oksidasi-reduksi pada densitas dan butiran serbuk U_3O_8 dan UO_2 yang diperoleh pada daur ulang bahan bakar nuklir. Pada siklus ke-1, serbuk UO_2 yang diperoleh dari proses oksidasi-reduksi pelet UO_2 sinter dipanaskan pada temperatur dan waktu yang bervariasi hingga menjadi U_3O_8. Serbuk U_3O_8 kemudian direduksi pada temperatur 850 °C selama 2 jam dalam suasana gas hidrogen hingga berubah kembali menjadi UO_2. Proses oksidasi-reduksi tersebut merupakan siklus ke-2. UO_2 yang diperoleh dioksidasi menjadi U_3O_8, dan U_3O_8 ini kemudian direduksi kembali menjadi UO_2 pada siklus ke-3. Pada siklus ke-4, UO_2 hasil siklus ke-3 dioksidasi menjadi U_3O_8. Kedua jenis serbuk hasil proses oksidasi-reduksi diukur densitasnya dan diambil fotonya. Dari percobaan diperoleh hasil bahwa siklus proses oksidasi-reduksi uranium oksida berpengaruh terhadap densitas serbuk U_3O_8 dan UO_2 dan butirannya. Pada siklus ke-3, densitas serbuk U_3O_8 hasil oksidasi lebih tinggi daripada yang diperoleh pada siklus ke-1, ke-2 dan ke-4. Hal ini berlaku pula untuk serbuk UO_2 hasil reduksi sampai siklus ke-3. Untuk butiran, baik serbuk U_3O_8 maupun UO_2 mempunyai kecenderungan untuk berkelompok pada siklus ke-1 dan pada siklus-siklus berikutnya butiran semakin kecil dan terpisah.

KATA KUNCI : Siklus oksidasi-reduksi, Uranium oksida, Daur ulang bahan bakar nuklir, Densitas serbuk, Butiran serbuk

ABSTRACT

INFLUENCE OF OXIDATION-REDUCTION PROCESS CYCLE OF URANIUM OXIDE ON DENSITY AND GRAIN OF U_3O_8 AND UO_2 POWDERS. *Oxidation-reduction process of uranium oxide in a number of cycles has been investigated to determine the influence of oxidation-reduction cycle on the density and grain of U_3O_8 and UO_2 powders obtained from nuclear fuel recycling. In the first cycle, UO_2 powder obtained from the oxidation-reduction process of UO_2 sintered pellets was heated at various temperatures and time to form U_3O_8. The U_3O_8 powder was then reduced at temperature 850 °C for 2 hours in hydrogen atmosphere to convert it back to UO_2. The oxidation-reduction process was the second cycle. The UO_2 powder obtained was reoxidized to form U_3O_8, and the U_3O_8 was reduced back to UO_2 in the third cycle. In the fourth cycle, UO_2 obtained from the third cycle was oxidized to form U_3O_8. The densities and photographs of the two types of powders as the products of oxidation-reduction process were obtained. The results showed that the cycles of oxidation-reduction of uranium oxide influence the density and grain of U_3O_8 and UO_2 powders. In the third*

cycle, the powder density of U_3O_8 as the oxidation product is higher than those obtained in the first, second and fourth cycle. Similar trend prevails for UO_2 powder, the reduction product, up to the third cycle. Meanwhile the grains of both U_3O_8 and UO_2 powders tend to crowd together in the first cycle but then become smaller and separate in the following cycles.

FREE TERMS : Oxidation-reduction cycle, Uranium oxide, Nuclear fuel recycling, Powder density, Powder grain

I. PENDAHULUAN

Pembangunan reaktor daya untuk pembangkit listrik secara komersial pada saat ini sangat memperhatikan aspek keselamatan dan meminimalisasi limbah radioaktif. Pengelolaan limbah radioaktivitas tinggi merupakan salah satu faktor keselamatan yang penting. Konsep pengelolaan limbah aktivitas tinggi adalah meminimalisasi kuantitas, perbaikan proses dan pengembangan teknologi mutakhir. Bahan bakar bekas yang diperoleh dari reaktor daya komersial dapat direduksi secara daur ulang *(recycling)* dengan proses AIROX *(Atomics International Reduction Oxidation)* yang dikembangkan di Amerika. Proses AIROX merupakan proses oksidasi-reduksi terhadap bahan bakar uranium dioksida cara kering dan hanya melibatkan bahan padat dan gas. Dalam proses ini, kelongsong, produk fisi volatil dan bahan bakar dipisahkan secara pirokimia pada temperatur 400 – 600 ºC. Oksidasi terhadap pelet UO_2 teriradiasi/tidak teriradiasi mengubah UO_2 bentuk pelet menjadi butiran granular U_3O_8 bentuk serbuk dengan volume yang membesar. Produk fisi volatil (Kr, Xe, I, ^3H) terlepas selama proses dan beberapa hasil fisi semi-volatil (Cs dan Ru) terlepas selama proses sinter pelet. Hasil fisi medium dan volatil rendah (Ba, Sr, Ce, La, Pd, Zr) masih berada dalam bahan bakar bersama-sama dengan uranium, plutonium dan aktinida lainnya[1].

Pada tahun 1992, AECL, KAERI dan *U.S. Department of State* telah mengadakan kerjasama fasa I mengenai bahan bakar DUPIC *(Direct Use of PWR spent fuel in Candu reactor)*. Lima pilihan rekonfigurasi mekanik dipelajari untuk menentukan kriteria pemilihan berbagai aspek seperti refitabilitas untuk CANDU dan PWR, *safeguards*, lisensi, fisika reaktor, unjuk kerja bahan bakar, penanganan dan fabrikasi bahan bakar serta pengelolaan limbah. Konsep proses serbuk telah dipelajari yaitu proses OREOX *(Oxidation Reduction of Enriched Oxide Fuel)*. Pada proses tersebut pelet bahan bakar bekas dari PWR dikenai proses oksidasi-reduksi beberapa kali (siklus) hingga diperoleh serbuk UO_2 yang kemudian dijadikan pelet sinter dan difabrikasi menjadi elemen bakar CANDU. Proses OREOX tersebut sama dengan AIROX, khususnya dalam proses oksidasi-reduksi bahan bakar bekas. Proses serbuk ini ternyata memberikan spesifikasi teknis yang baik dan memuaskan[2,3].

Kedua proses diatas (AIROX dan OREOX/DUPIC) adalah proses daur ulang bahan bakar nuklir dengan cara kering *(dry/non-aqueous recycling)* yang mempunyai keunggulan bila dibandingkan dengan proses basah, yaitu penghematan bahan bakar uranium sampai 25%, proses sederhana meliputi termal dan mekanik, tidak ada pemisahan bahan nuklir yang sensitif dan tidak bertentangan dengan perjanjian non-proliferasi[4,5].

Sejalan dengan Landmark atau Sasaran utama BATAN yaitu dibangunnya PLTN pertama pada tahun 2016 jenis PWR dan PHWR nantinya[6], berbagai kegiatan telah dilakukan. Salah satu kegiatan adalah daur bahan bakar nuklir khususnya pengelolaan limbah radioaktif aktivitas tinggi (bahan bakar bekas). Proses DUPIC merupakan alternatif yang menjanjikan karena proses tersebut memanfaatkan bahan bakar bekas dari PWR untuk digunakan kembali pada bahan bakar PHWR. Bahan bakar bekas dari PWR tersebut dikenai proses oksidasi-

reduksi *(OREOX process)* sampai diperoleh serbuk UO_2 yang kemudian dibuat pelet dan disinter[6].

Berbagai kajian mengenai bahan bakar DUPIC dan eksperimen awal proses oksidasi-reduksi satu siklus dengan bahan UO_2 telah dilakukan dalam rangka pemahaman tentang bahan bakar DUPIC. Eksperimen tersebut menunjukkan bahwa pada proses oksidasi-reduksi satu siklus densitas U_3O_8 hasil oksidasi dan densitas UO_2 hasil reduksi masih rendah[7].

Dari eksperimen yang telah dilakukan tersebut maka penelitian ini dilanjutkan dengan variabel siklus proses oksidasi-reduksi hingga diperoleh nilai densitas yang memadai dengan hipotesis bahwa pengulangan proses (siklus) oksidasi-reduksi UO_2 meningkatkan nilai densitas yang diperoleh. Nilai densitas serbuk UO_2 sebagai produk penting untuk diketahui mengingat bahwa pada pembuatan pelet diperlukan kerapatan serbuk yang cukup. Dalam penelitian ini juga diamati bentuk butiran serbuk setelah proses oksidasi-reduksi menggunakan mikroskop optik.

II. TATA KERJA

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan adalah serbuk UO_2 hasil proses oksidasi-reduksi pelet UO_2 sinter (siklus ke-1), gas nitrogen dan hidrogen untuk proses reduksi dan larutan CCl_4 untuk pengukuran densitas serbuk. Untuk mengamati bentuk butiran digunakan film.

2.2. Alat

Alat oksidasi yang digunakan adalah tungku pemanas biasa, sedangkan tungku reduksi yang digunakan berjenis tungku pemanas opal. Cawan porselin digunakan untuk wadah sampel. Pengukuran densitas menggunakan piknometer dan timbangan analitik, sedangkan pengamatan butir UO_2 dan U_3O_8 dilakukan dengan mikroskop optik.

2.3. Cara Kerja

a. Serbuk UO_2 hasil proses oksidasi-reduksi siklus ke-1 seberat ±5 gram dimasukkan ke dalam cawan porselin lalu dioksidasi dalam tungku pemanas biasa pada temperatur 400, 500 dan 600 °C dengan waktu bervariasi 1, 2 dan 3 jam. Setelah pemanasan selesai, tungku dimatikan dan didinginkan sampai temperatur kamar. Pada proses oksidasi ini, UO_2 berubah menjadi U_3O_8. Sebagian sampel U_3O_8 diambil untuk ditentukan densitasnya menggunakan piknometer dan diamati bentuk butirnya menggunakan mikroskop optik. Sebagian yang lain direduksi menggunakan tungku opal pada temperatur 850 °C dalam lingkungan H_2 selama 2 jam. Pada proses reduksi ini U_3O_8 berubah kembali menjadi UO_2. Setelah tungku dimatikan dan sampel dingin, sebagian ditentukan densitas dan bentuk butirnya dan sebagian yang lain untuk proses oksidasi berikutnya. Proses oksidasi-reduksi tersebut adalah siklus ke-2, karena siklus ke-1 telah dilaporkan[7].

b. Pekerjaan pada butir 1 tersebut diulangi sampai siklus ke-3, sedangkan proses oksidasinya sampai siklus ke-4. Kemudian hasil penentuan densitas dan bentuk butir dievaluasi.

c. Pengamatan bentuk butir hasil proses oksidasi dilakukan menggunakan mikroskop optik. Sejumlah kecil serbuk U_3O_8 hasil oksidasi maupun UO_2 hasil reduksi diletakkan di atas plastik transparan kemudian diamati dengan mikroskop optik lalu diambil fotonya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

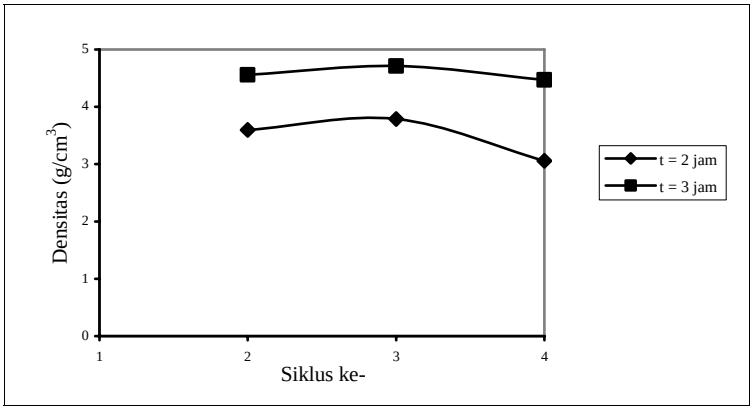
3.1. Pengaruh Siklus Oksidasi-Reduksi terhadap Densitas

Telah dilaporkan hasil proses oksidasi-reduksi siklus-1 pelet UO_2 sinter dimana densitas serbuk yang diperoleh masih rendah sehingga belum memenuhi syarat untuk dibuat pelet dan disinter[7]. Penelitian dilanjutkan dengan mengulangi lagi siklus oksidasi-reduksi guna mengetahui perubahan densitas yang diperoleh dan bentuk butirnya. Proses oksidasi-reduksi siklus ke-2 dilakukan dengan mengoksidasi serbuk UO_2 hasil proses oksidasi-reduksi siklus ke-1 menjadi U_3O_8 kemudian direduksi kembali menjadi UO_2. Proses oksidasi-reduksi ini diulangi (siklus ke-3) dan untuk siklus ke-4 hanya sampai oksidasi saja karena densitas yang diperoleh menurun. Oksidasi dilaksanakan pada temperatur dan waktu yang divariasi, sedangkan reduksi pada temperatur 850 ºC dalam lingkungan H_2 dan waktu 2 jam. Data hasil proses oksidasi-reduksi dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan pengaruh siklus (pengulangan) proses oksidasi terhadap densitas serbuk U_3O_8 yang diperoleh disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Densitas serbuk hasil oksidasi-reduksi pada berbagai siklus

No.	Kondisi operasi oksidasi		Densitas sejati serbuk (g/cm^3)				
			Siklus ke-2		Siklus ke-3		Siklus ke-4
	Temp. (ºC)	Waktu (jam)	Serbuk U_3O_8 hasil oksidasi II	Serbuk UO_2 hasil reduksi II	Serbuk U_3O_8 hasil oksidasi III	Serbuk UO_2 hasil reduksi III	Serbuk U_3O_8 hasil oksidasi IV
1.	400	2	3,5950	5,6157	3,7866	5,8987	3,0561
2.	400	3	4,5564	6,4984	4,7126	6,2397	4,4698
3.	500	1	3,8582	6,3447	3,9290	6,3705	3,7434
4.	500	2	4,7575	6,5654	4,7699	7,4964	4,2263
5.	500	3	4,9889	6,1566	5,1959	7,2639	4,1682
6.	600	1	5,0810	7,0515	5,2924	7,2827	5,0018

Dari Tabel 1 dan Gambar 1 terlihat bahwa siklus oksidasi-reduksi mempengaruhi besarnya densitas serbuk U_3O_8 hasil proses oksidasi baik pada kondisi oksidasi pada temperatur 400 °C dalam lingkungan atmosfir udara selama 2 jam maupun 3 jam. Hal ini tampak pada siklus ke-3 dimana densitas U_3O_8 lebih besar daripada densitas pada siklus ke-2, dan bila dibandingkan dengan harga di pustaka[7] yaitu densitas yang diperoleh pada siklus ke-1, juga lebih besar. Namun pada siklus ke-4 ternyata terjadi penurunan densitas.



Gambar 1. Pengaruh siklus terhadap densitas serbuk U_3O_8 hasil oksidasi pada temperatur 400 °C

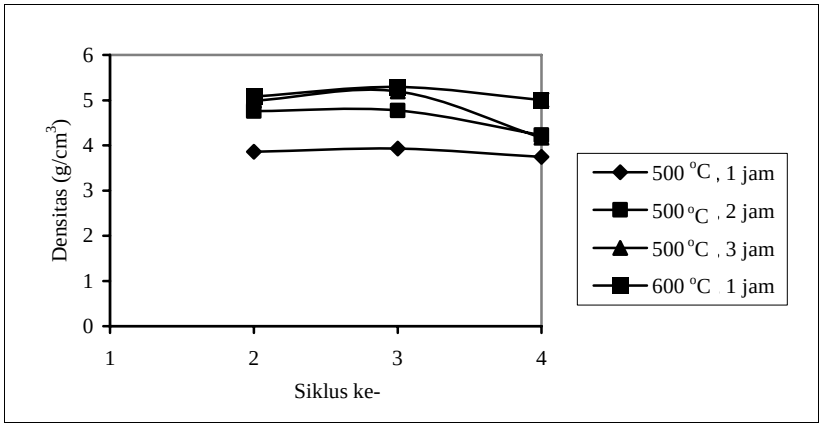
Fenomena seperti di atas juga terjadi pada kondisi operasi 500 °C selama 1, 2 dan 3 jam serta pada temperatur 600 °C selama 1 jam yaitu densitas U_3O_8 yang diperoleh pada siklus ke-3 lebih besar daripada densitas yang diperoleh pada siklus ke-2 dan ke-1, sedangkan pada siklus ke-4 terjadi penurunan. Hal ini diduga karena terjadi perubahan rongga-rongga pada butir yang disebabkan oleh proses oksidasi-reduksi berulangkali.

Pengaruh siklus oksidasi-reduksi terhadap densitas UO_2 hasil proses reduksi dapat dilihat pada Tabel 1. Densitas UO_2 yang diperoleh pada siklus ke-3 lebih besar daripada yang diperoleh pada siklus ke-2, demikian juga bila dibandingkan dengan densitas yang diperoleh pada siklus ke-1[7]. Untuk siklus ke-4 tidak dilakukan karena densitas U_3O_8 yang diperoleh lebih kecil daripada siklus ke-3, sehingga diperkirakan pada siklus ke-4 juga mengalami penurunan. Densitas serbuk UO_2 tertinggi diperoleh pada kondisi operasi oksidasi 500 °C dan waktu 2 jam.

Densitas U_3O_8 hasil oksidasi dan densitas UO_2 hasil reduksi pada siklus ke-2, ke-3 dan ke-4 paling tinggi diperoleh pada temperatur 600 °C dan waktu 1 jam (Tabel 1 dan Gambar 2). Hal ini dapat dipahami karena pada temperatur yang relatif lebih tinggi reaksi lebih sempurna dan menghasilkan serbuk dengan densitas lebih rapat.

Kondisi operasi oksidasi yang relatif baik pada proses oksidasi-reduksi uranium oksida ini adalah temperatur 500 °C dan waktu 2 jam karena temperatur yang digunakan lebih rendah, faktor keselamatan lebih aman, dan dari segi energi lebih rendah dan lebih hemat.

Dari hasil yang telah diperoleh di atas dapat disimpulkan bahwa siklus oksidasi-reduksi mulai dari pelet sinter UO_2 sampai menjadi serbuk yang relatif baik (7,4964 g/cm^3) adalah sampai pada siklus ke-3. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan YANG dkk[8], dimana untuk proses oksidasi-reduksi baik dengan menggunakan bahan UO_2 murni (tanpa penambahan unsur-unsur lain) dan simulasi baik untuk *burnup* 15, 33 maupun 50 MWd/kgU menunjukkan bahwa densitas bahan tersinter pada siklus oksidasi-reduksi ke-1 masih rendah, sedangkan pada siklus ke-2 dan ke-3 naik cukup tinggi, dan setelah siklus ke-3 naiknya sedikit. Pada siklus ke-3 tersebut densitas serbuk UO_2 yang diperoleh masing-masing sekitar 93,7%; 92% dan 89,5% dari densitas teoritis.



Gambar 2. Pengaruh siklus oksidasi terhadap densitas serbuk U_3O_8 hasil oksidasi pada temperatur 500 °C dan 600 °C

3.2. Pengaruh Siklus Oksidasi-Reduksi terhadap Butiran Serbuk UO_2 dan U_3O_8

Untuk mengamati bentuk butir U_3O_8 yang diperoleh dari hasil proses oksidasi UO_2 dan bentuk butir UO_2 hasil proses reduksi U_3O_8, serbuk diletakkan di atas plastik transparan kemudian dilakukan pemotretan dengan mikroskop optik. Foto hasil pengamatan butiran serbuk pada berbagai siklus oksidasi-reduksi dan kondisi operasi oksidasi temperatur 500 °C waktu 3 jam ditunjukkan pada Gambar 3 – 5, dan temperatur 600 °C waktu 1 jam pada Gambar 6.

Pada siklus oksidasi-reduksi ke-1, foto serbuk U_3O_8 hasil oksidasi pelet sinter UO_2 ditunjukkan pada Gambar 3(a). Tampak bahwa butiran serbuk masih menyatu satu dengan lain atau masih menggumpal. Demikian pula pada Gambar 3(b) yaitu foto serbuk UO_2 sebagai hasil reduksi U_3O_8 belum nampak butiran secara jelas. Keadaan ini akan mempersulit dalam proses kompaksi untuk pembuatan pelet mentah yang kemudian disinter karena butiran masih mengumpul, sehingga tidak menghasilkan pelet sinter yang baik. Hal ini juga ditunjukkan dengan densitas yang masih rendah[7]. Kondisi ini menunjukkan belum sempurnanya proses oksidasi-reduksi bila dilakukan hanya dalam satu siklus.

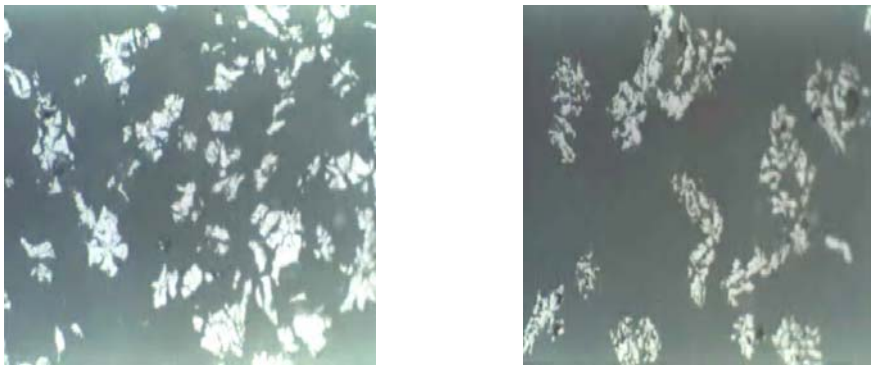
Pada proses oksidasi-reduksi siklus ke-2, foto serbuk U_3O_8 hasil oksidasi UO_2 yang diperoleh pada siklus ke-1 menunjukkan bahwa telah terjadi pemisahan butir-butir U_3O_8 yang tadinya menggumpal dan sekarang terpisah walaupun masih sedikit berkelompok (Gambar 4(a)), demikian juga untuk serbuk UO_2 hasil reduksi U_3O_8 pada siklus ke-2 ini (Gambar 4(b)).

Pada siklus oksidasi-reduksi ke-3 butir-butir serbuk U_3O_8 hasil oksidasi (Gambar 5(a)) dan butir-butir serbuk UO_2 hasil reduksi (Gambar 5(b)) juga menunjukkan butiran terpisah sebagaimana yang diperoleh pada siklus ke-3. Demikian pula serbuk U_3O_8 setelah proses oksidasi ke-4, kondisi butirnya relatif sudah terpisah (Gambar 6). Setelah terjadi pemisahan butiran serbuk baik U_3O_8 maupun UO_2 maka densitasnya bertambah besar.

Namun jika disimak lebih seksama, maka butiran-butiran tersebut belum menampakkan butiran yang benar-benar terpisah satu dengan lainnya. Kemungkinan hal ini disebabkan densitas serbuk yang diperoleh masih relatif rendah. Oleh karena itu untuk mengatasi keadaan tersebut, maka serbuk U_3O_8 maupun UO_2 perlu digerus terlebih dahulu setiap selesai proses oksidasi dan reduksi sehingga butir menjadi lebih halus dan bentuk serta

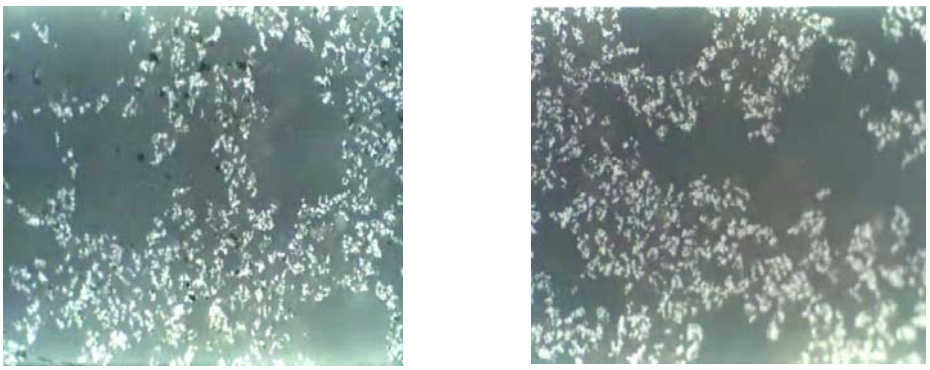
 ISSN 1907–2635

ukurannya homogen. Dengan demikian diharapkan kualitas serbuk yang diperoleh dapat diperbaiki.



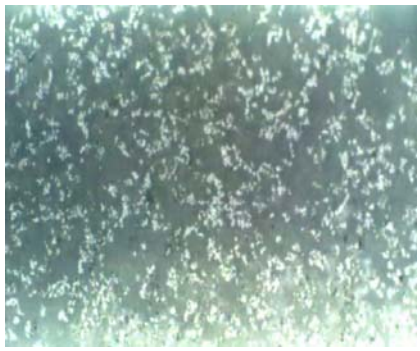
(a) (b)

Gambar 3. Butiran serbuk hasil oksidasi-reduksi siklus ke-1, perbesaran 400×
(a) U_3O_8; (b) UO_2

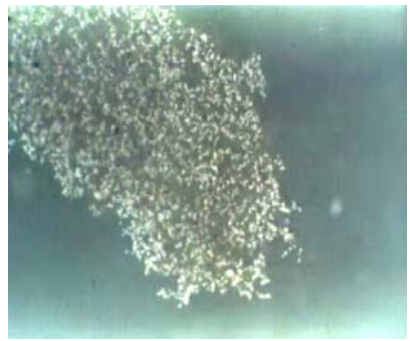


(a) (b)

Gambar 4. Butiran serbuk hasil oksidasi-reduksi siklus ke-2, perbesaran 400×
(a) U_3O_8; (b) UO_2

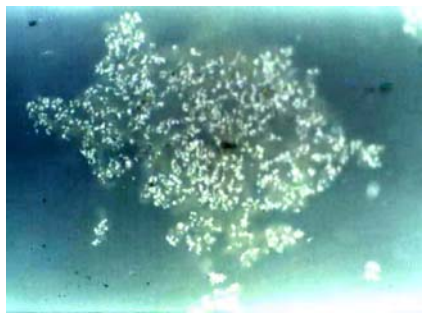


(a)



(b)

Gambar 5. Butiran serbuk hasil oksidasi-reduksi siklus ke-3, perbesaran 400× (a) U_3O_8; (b) UO_2



Gambar 6. Butiran serbuk U_3O_8 hasil oksidasi siklus ke-4, perbesaran 400×

Keterangan : skala = 1 : 0,0025

IV. KESIMPULAN

1. Siklus (pengulangan proses) oksidasi-reduksi uranium oksida berpengaruh terhadap perubahan densitas U_3O_8 dan UO_2 serta butiran serbuk U_3O_8 dan UO_2 yang diperoleh.
2. Untuk serbuk U_3O_8 hasil oksidasi, pada siklus ke-3 densitasnya lebih tinggi daripada yang diperoleh pada siklus ke-2 dan ke-1, tetapi pada siklus ke-4 densitasnya menurun. Demikian juga untuk serbuk UO_2 hasil reduksi, terjadi kenaikan densitas menjadi 7,496 4 g/cm^3 dengan adanya pengulangan proses (siklus) sampai ke-3.
3. Pada siklus oksidasi-reduksi ke-1 butiran baik serbuk U_3O_8 mapun UO_2 masih berkelompok sehingga densitasnya masih rendah. Pada siklus ke-2, ke-3 dan ke-4 butirannya relatif sudah terpisah-pisah sehingga densitasnya lebih tinggi daripada yang diperoleh pada siklus ke-1.
4. Kondisi operasi oksidasi yang relatif baik adalah temperatur 500 °C, waktu 2 jam dengan densitas UO_2 yang diperoleh sebesar 7,4964 g/cm^3.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf dan teknisi sarana penunjang dan sistem keselamatan yang telah membantu dalam pelayanan sarana dukung dan pemantauan keselamatan kerja.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. MAJUMDAR, D., JAHSHAN, S.N., ALLISON, C.M., KUAN, P., and THOMAS, T.R., "Recycling of Nuclear Spent Fuel with AIROX Processing", DOE/ID-10423, 1992, pp.1-1 to 2-6.
2. TORGERSON, D.F., BOCZAR, P.G., and DASTUR, A.R., "CANDU Fuel Cycle Flexibility", 9th Pacific Basin Nuclear Conference, Sydney, 1994.
3. WHITLOCK, J..J., "The Evolution of CANDU Fuel Cycles and Their Potential Contribution to World Peace", International Youth Nuclear Congress 2000, Bratislava, 2000.
4. LEE, J.W., "DUPIC Fuel Fabrication Technology", Korea Atomic Energy Research Institute, Daejon, 2004.
5. PARK, J.J., YANG, M.S., BAE, K.K., and CHOI, H.B., "Technology and Implementation of the DUPIC Concept for Spent Nuclear Fuel in the Rok", Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, 2002.
6. SOETRISNANTO, A.Y., "Road Map Energi Nuklir – PLTN", PPEN-BATAN, Jakarta, 2004.
7. SIGIT, YUDHI, N., PRATOMO, R., dan HERHADY, R.D., "Karakterisasi Hasil Proses Oksidasi-Reduksi Siklus I Uranium Oksida", Prosiding PPI-PDIPTN, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 2005, hal.257-263.
8. YANG, M.S., KIM, B.G., SONG, K.W., BAE, K.K., KIM, S.S., KIM, W.K., JUNG, I.H., and PARK, H.S., "Characteristics of DUPIC Fuel Fabrication Technology", Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon.