

## KOMPARASI SIFAT KIMIA DAN FISIK SERBUK $UO_2$ HASIL KONVERSI *YELLOW CAKE* LIMBAH PUPUK FOSFAT DAN *YELLOW CAKE* KOMERSIAL MELALUI JALUR ADU

Ganisa K. Suryaman, Torowati, Rahmiati, Ratih Langenati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN  
Gd. 20 Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang 15314  
e-mail: ganisa@batan.go.id  
(diterima 11-10-2013, disetujui 26-11-2013)

### ABSTRAK

**KOMPARASI SIFAT KIMIA DAN FISIK SERBUK  $UO_2$  HASIL KONVERSI *YELLOW CAKE* LIMBAH PUPUK FOSFAT DAN *YELLOW CAKE* KOMERSIAL MELALUI JALUR ADU.** Serbuk  $UO_2$  adalah bahan baku pembuatan bahan bakar reaktor nuklir yang didapatkan dari hasil konversi *yellow cake*. Sumber *yellow cake* umumnya berasal dari bahan mineral uranium. Uranium juga banyak terdapat pada limbah pabrik pupuk fosfat. Dengan demikian pemanfaatan limbah pabrik pupuk fosfat dapat menyelesaikan dua masalah yaitu pencemaran lingkungan dan ketersediaan bahan baku bahan bakar nuklir. Tujuan penelitian adalah mendapatkan serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir dari *yellow cake* limbah pabrik pupuk fosfat dan untuk mengetahui kualitasnya maka hasil penelitian ini di komparasi dengan *yellow cake* komersial. Telah dilakukan kegiatan konversi *yellow cake* via jalur Amonium Diuranat (ADU) terhadap *yellow cake* yang berasal dari limbah pabrik pupuk fosfat (A) dengan pembandingan *yellow cake* komersial (B). Serbuk  $UO_2$  yang dihasilkan melalui konversi jalur ADU dikarakterisasi sifat kimia dan fisiknya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa *yellow cake* yang berasal dari limbah pabrik pupuk fosfat sangat potensial menjadi bahan baku pembuatan serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir, meskipun masih perlu dilakukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kemurniannya.

**Kata kunci:** *yellow cake*, ADU,  $UO_2$ , serbuk  $UO_2$  derajat nuklir

### ABSTRACT

**COMPARAISON OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF  $UO_2$  POWDER YELLOW CAKE CONVERSION OF PHOSPHATE FERTILIZER WASTE AND COMMERSIAL YELLOW CAKE.** The  $UO_2$  powder is the main ingredient of nuclear fuel.  $UO_2$  powder is obtained from yellow cake conversion. Yellow cake doesn't only come from uranium ore, but also from phosphate fertilizer factory waste. The objective of this research is to obtain nuclear grade  $UO_2$  powder from yellow cake of phosphate fertilizer byproduct via ADU. Commercial yellow cake was used as a comparison. The yellow cake conversion via ADU had been conducted and the  $UO_2$  powder obtained had been characterized. This research concluded that  $UO_2$  powder converted from phosphate fertilizer factory waste yellow cake is very potential for the base ingredients of nuclear grade  $UO_2$  powder. However, special treatment needs to be done to increase the purity level of phosphate fertilizer factory waste  $UO_2$  powder, etc.

**Keywords:** *yellow cake*, ADU,  $UO_2$ ,  $UO_2$  nuclear grade powder

### I. PENDAHULUAN

Serbuk  $UO_2$  merupakan bahan baku pembuatan bahan bakar reaktor nuklir yang didapatkan dari hasil konversi *yellow*

*cake*. *Yellow cake* adalah konsentrat uranium-oksida yang dihasilkan dari pemekatan bijih uranium, yang biasanya mengandung 80 sampai 90%  $U_3O_8$ <sup>[1]</sup>. Pada umumnya *Yellow cake* didapatkan dari bijih uranium. Selain

dari bijih uranium, *yellow cake* bisa didapatkan dari batuan fosfat. Batuan fosfat merupakan bahan baku pembuatan pupuk fosfat. Sebagian besar uranium yang terkandung didalam batuan fosfat menjadi kontaminan radioaktif pada pupuk fosfat dan pada akhirnya menjadi limbah yang berbahaya<sup>[2]</sup>. Agar limbah pupuk fosfat tidak mencemari lingkungan, pemurnian asam fosfat menjadi hal yang mutlak dilakukan oleh produsen pupuk untuk menghilangkan bahan radioaktif.

Kandungan uranium dalam limbah pabrik pupuk fosfat adalah sekitar 70-100 ppm, mengingat kapasitas produksi pupuk yang besar maka bisa didapatkan *yellow cake* dengan jumlah yang cukup besar pula. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa *yellow cake* yang bisa didapatkan dari limbah pabrik pupuk fosfat Petrokimia Gresik adalah sebanyak 55,5 ton per tahun<sup>[3]</sup>. Oleh karena itu pemanfaatan limbah pabrik pupuk fosfat menjadi sumber *yellow cake* akan dapat sekaligus menyelesaikan 2 permasalahan yakni pencemaran lingkungan oleh limbah uranium dan ketersediaan bahan baku untuk bahan bakar reaktor nuklir.

*Yellow cake* agar dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar reaktor nuklir, harus dikonversi terlebih dahulu menjadi serbuk  $UO_2$ . Jalur konversi *yellow cake* menjadi  $UO_2$  dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu konversi melalui jalur basah dan jalur kering. Jalur kering mengkonversi  $UF_6$  gas menjadi serbuk  $UO_2$ . Jalur basah terbagi menjadi dua yaitu jalur uranium diuranat (ADU) dan amonium karbonat (AUK).

Jalur ADU adalah jalur konversi dimana uranium diendapkan sebagai ADU dengan pereaksi amonium hidroksida. Jalur AUK adalah jalur dimana uranium diendapkan sebagai amonium uranil karbonat dengan pereaksi AUK. Karakteristik serbuk  $UO_2$  yang dihasilkan dari hasil konversi dengan jalur ADU berbeda dengan jalur AUK. Kelebihan serta kekurangan serbuk hasil konversi jalur ADU dan AUK disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan uraian pada Tabel 1 dan berdasarkan sarana yang tersedia, maka pada penelitian ini memilih jalur ADU untuk proses konversi serbuk *yellow cake* menjadi  $UO_2$ .

Kualitas bahan bakar reaktor nuklir yang dihasilkan sangat ditentukan oleh kualitas serbuk  $UO_2$  awal yang digunakan. Kualitas serbuk ditentukan oleh sifat – sifat serbuk  $UO_2$ . Sifat serbuk  $UO_2$  dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu sifat fisik dan kimia<sup>[6]</sup>.

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan serbuk hasil konversi via ADU dan AUK.<sup>[4,5]</sup>

Jalur Konversi	ADU	AUK
Kelebihan serbuk	Mudah untuk disinter	Mudah untuk dikompakkan
Kekurangan serbuk	Serbuk sulit untuk dikompakkan, memerlukan <i>pre-treatment</i> sebelum dikompakkan	Serbuk sulit untuk disinter

Sifat fisik serbuk diantaranya adalah densitas ketuk, densitas curah, morfologi serbuk dan densitas pelet mentah. Densitas curah dan ketuk menunjukkan mampu alir serbuk dan kemampuan serbuk untuk dikompaksi. Morfologi serbuk menunjukkan bentuk dari serbuk yang dihasilkan. Densitas pelet mentah menggambarkan kemampuan serbuk untuk dikompaksi dengan tekanan tertentu. Sifat fisik sangat erat kaitannya dengan kemampuan serbuk untuk difabrikasi.

Sifat kimia serbuk akan berpengaruh terhadap proses fabrikasi dan kinerja bahan bakar ketika digunakan di reaktor. Sifat kimia serbuk diantaranya adalah kandungan pengotor dan rasio O/U. Karakterisasi pengotor perlu dilakukan karena serbuk  $UO_2$  dikatakan berderajat nuklir apabila kadar pengotor yang terkandung didalamnya masih berada dalam batas persyaratan. Sementara itu rasio O/U yang terkandung di dalam

serbuk akan berdampak terhadap kemampuan fabrikasinya. Apabila rasio O/U terlalu rendah, maka serbuk menjadi tidak stabil dan ketika disinter akan menghasilkan pelet sinter dengan densitas yang rendah. Namun apabila rasio O/U dalam serbuk terlalu tinggi, maka ketika dilakukan sintering akan didapatkan pelet dengan densitas yang tinggi namun mikrostruktur dalam pelet tidak homogen<sup>[7]</sup>. Persyaratan rasio O/U untuk bahan bakar nuklir adalah 2,00 – 2,13<sup>[8]</sup>. Untuk mengendalikan dan mengetahui kualitas produk yang dihasilkan, maka perlu dilakukan pengujian terhadap serbuk  $UO_2$ .

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir dari *yellow cake* limbah pabrik pupuk fosfat sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan bakar reaktor nuklir. Selain itu untuk mengetahui kualitasnya maka hasil penelitian ini di komparasi dengan *yellow cake* komersial.

## II. TATA KERJA

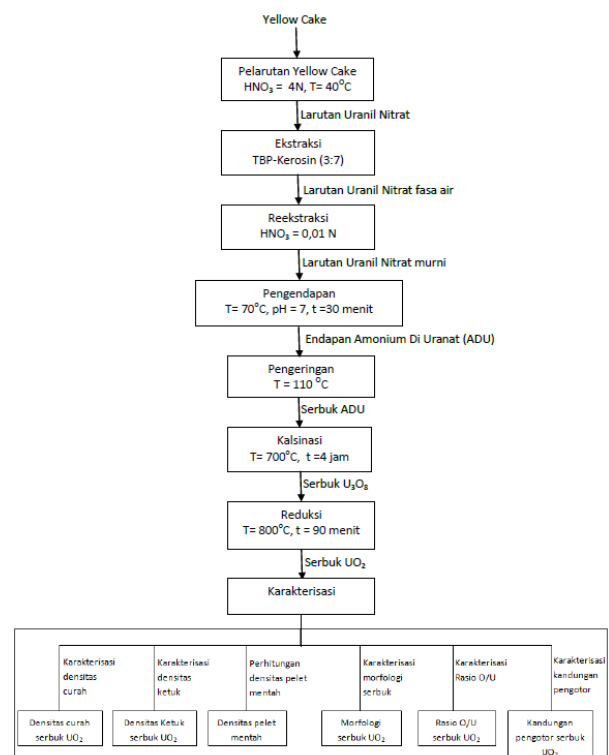
Alur kerja penelitian tersaji pada Gambar 1. Bahan yang digunakan adalah *yellow cake* yang berasal dari limbah pabrik pupuk fosfat PT Petrokimia Gresik.

Cara kerja dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Konversi Yellow Cake Via Jalur ADU
  - a. Serbuk *yellow cake* dilarutkan dengan  $HNO_3$  dengan pengadukan dan pemanasan pada temperatur  $40^\circ C$ .
  - b. Larutan yang dihasilkan diekstraksi dengan menggunakan TBP-kerosin dengan perbandingan 3:7.
  - c. Re-ekstraksi menggunakan asam nitrat 0,01 N. Tahap ekstraksi dan re-ekstraksi diulangi sebanyak tiga kali.
  - d. Larutan uranil nitrat hasil re-ekstraksi, dipadatkan dengan cara dipanaskan.
  - e. Larutan uranil nitrat pekat diendapkan dengan menggunakan amonium hidroksida. Uranil nitrat dipanaskan dan

diaduk diatas *stirrer hot plate*. Amonium hidroksida ditambahkan setetes demi setetes secara manual kedalam larutan uranil nitrat. pH larutan pada saat pengendapan dijaga pada pH 7 dengan temperatur  $70^\circ C$  selama 30 menit.

- f. Endapan ADU yang dihasilkan dikeringkan pada temperatur  $110^\circ C$ .
- g. Endapan ADU dikalsinasi selama 4 jam pada temperatur  $700^\circ C$ . Dari hasil kalsinasi didapatkan serbuk  $U_3O_8$  dan  $UO_3$ .
- h. Serbuk direduksi pada temperatur  $800^\circ C$  menggunakan atmosfer Hidrogen.
- i. Serbuk  $UO_2$  yang dihasilkan dikarakterisasi rasio O/U, densitas curah, densitas ketuk dan kandungan pengotornya. Sebagian serbuk  $UO_2$  dari kedua bahan tersebut dikompakkan dengan tekanan 3 MP untuk dijadikan pelet. Pelet mentah kemudian diukur dimensi dan beratnya untuk menghitung densitas dari pelet mentah yang dihasilkan.



Gambar 1. Alur kerja penelitian

2. Karakterisasi Serbuk  $UO_2$ 
  - a. Karakterisasi rasio O/U
  - b. Karakterisasi pengotor
  - c. Karakterisasi densitas ketuk,
  - d. Karakterisasi densitas curah,
  - e. Karakterisasi densitas pelet mentah,
  - f. Karakterisasi morfologi serbuk dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Uji kualitas serbuk dilakukan dengan mengacu pada dokumen Petunjuk Pelaksanaan Kendali Mutu Labolatorium Fabrikasi Bahan Bakar di Instalasi Elemen Bahan Bakar Nuklir<sup>[8]</sup>.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan rasio O/U serbuk  $UO_2$  yang didapatkan dari *yellowcake* limbah pabrik pupuk fosfat disebut A dan rasio serbuk  $UO_2$  pada *yellow cake* komersial adalah sebagai B (Tabel 2). Tabel 2 mengungkapkan bahwa rasio O/U serbuk A tidak jauh berbeda dengan B. Hal ini mengisyaratkan, serbuk *yellow cake* yang dihasilkan memenuhi batas keberterimaan. Batas keberterimaan serbuk  $UO_2$  untuk bahan bakar nuklir yaitu sebesar 2,00 – 2,13<sup>[8]</sup>. Dari sajian pada tabel2 dapat diketahui bahwa dengan konversi jalur ADU pada *yellow cake* limbah pabrik pupuk fosfat bisa didapatkan serbuk  $UO_2$  yang memenuhi persyaratan.

Tabel 2. Data Rasio O/U serbuk  $UO_2$

Serbuk $UO_2$	Rasio O/U	Standar Deviasi
A	2,06	0,0081
B	2,06	0,0004

Serbuk  $UO_2$  yang digunakan sebagai bahan bakar nuklir adalah serbuk  $UO_2$  yang berderajat nuklir. Kinerja serbuk  $UO_2$  sangat dipengaruhi kandungan pengotor. Data kandungan pengotor serbuk disajikan pada tabel 3<sup>[9]</sup>.

Serbuk A mengandung unsur pengotor Cu, Ca, Mn, Si, dan Al yang

melebihi persyaratan. Seluruh unsur ini akan mempengaruhi kinerja dari bahan bakar ketika digunakan didalam reaktor nuklir<sup>[6]</sup>. Untuk itu diperlukan perlakuan yang khusus untuk mengurangi kadar unsur-unsur tersebut, yang antara lain dengan memvariasi variabel ekstraksi.

Tabel 3. Data Pengotor Serbuk  $UO_2$

Unsur	Hasil Pengujian dengan AAS (ppm)		Batas Keberterimaan (ppm)
	A	B	
Cd	0,1050	0,1463	0,2
Cr	9,8270	nd	100
Cu	22,9830	6,5166	20
Ca	92,8670	248,2400	50
Fe	99,4620	60,7980	100
Mg	33,1447	9,0226	50
Mo	5,0520	0,4850	50
Mn	78,8190	3,2351	10
Si	131,3660	82,5240	60
Ni	3,2330	4,4766	30
Al	107,1130	60,7980	50
Co	2,2005	3,8205	75
Pb	1,0105	3,4627	60
Zn	32,6590	nd	100
V	2,9838	16,99	5
Sn	26,2732	nd	50

Keterangan: nd = belum ditentukan

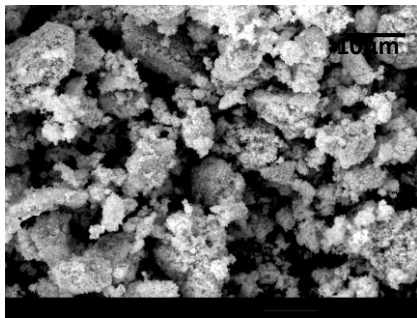
Tabel 4 menyajikan nilai densitas ketuk dari serbuk  $UO_2$  yang berasal dari *Yellow cake* limbah pabrik pupuk fosfat (A). Persyaratan untuk densitas curah adalah  $1,5 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$ . Sementara persyaratan densitas ketuk untuk serbuk  $UO_2$  yaitu sebesar  $2,0 \text{ g/cm}^3$ <sup>[8]</sup>.

Tabel 4. Data densitas curah dan densitas ketuk

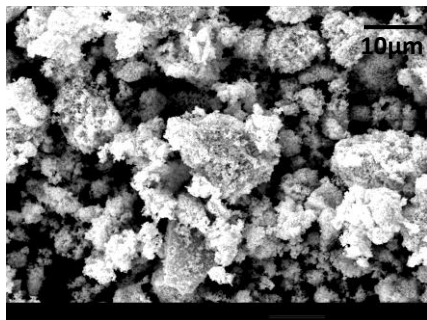
Serbuk $UO_2$	Densitas curah rata-rata ( $\text{g/cm}^3$ )	Densitas ketuk rata-rata ( $\text{g/cm}^3$ )
A	1,0600	1,8361
B	1,3400	2,1364

Nilai densitas curah dan ketuk serbuk A masih berada dibawah nilai serbuk B. Meskipun nilai serbuk A berbeda sedikit dengan nilai serbuk B, serbuk A sudah berada diluar batas keberterimaan. Hal ini berarti bahwa serbuk A memiliki mampu alir dan mampu kompak yang kurang baik. Pada serbuk yang memiliki mampu alir yang baik, maka interaksi interpartikel menjadi tidak signifikan dan akan menghasilkan nilai densitas ketuk dan densitas curah yang hampir sama<sup>[10]</sup>.

Interaksi antar partikel yang tinggi dapat disebabkan oleh morfologi serbuk serbuk yang dihasilkan. Hasil pengamatan morfologi serbuk dengan SEM disajikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Morfologi serbuk A (perbesaran 1500x)



Gambar 3. Morfologi serbuk B (perbesaran 1500x)

Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa serbuk A dan B yang terdiri dari partikel halus berukuran sekitar 0,5 - 1  $\mu m$ . Partikel-partikel tersebut cenderung mengagglomerasi. Partikel halus yang mengagglomerasi merupakan ciri khas serbuk hasil konversi jalur ADU seperti yang telah diungkapkan

oleh Meniek<sup>[5]</sup>. Hal ini mengisyaratkan bahwa terjadi interaksi antar partikel yang tinggi dan menyebabkan mampu alir dari serbuk menjadi kurang baik<sup>[10]</sup>. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa mampu alir dari serbuk A kurang baik seperti diterangkan pada paragraf sebelumnya. Oleh karena itu apabila serbuk A akan difabrikasi, maka diperlukan pengkondisian serbuk terlebih dahulu untuk memperbaiki mampu alir serbuk dan mempermudah proses fabrikasi dengan cara pengompakan awal, penggerusan, pengayakan dan pempturan.

Tabel 5. Data Perhitungan Densitas Pelet Mentah

No. Pellet	Densitas ( $g/cm^3$ )	
	A	B
1	5,234683	5,10905
2	6,010574	5,334817
3	5,078666	5,332746
4	5,300768	5,323213
5	5,091788	5,175388
6	5,090197	5,339262
7	5,268153	5,301476
8	5,229527	5,295641
9	5,188542	5,317817
10	5,200917	5,259884
11	5,22742	5,309944
12	5,184788	5,312107
13	5,166007	5,205567
14	5,131564	5,236162
15	5,164803	5,209499
16	5,174378	5,273574
Rata-Rata	5,233923	5,271009
Standar Deviasi	0,216461	0,066824

Tabel 5 menunjukkan bahwa serbuk  $UO_2$  yang berasal dari dua sumber yang berbeda memiliki nilai rata-rata yang relatif sama ketika dikompakkan dengan tekanan 3 MP. Spesifikasi densitas densitas pelet mentah yang dipersyaratkan adalah sebesar 5  $gr/cm^3$ <sup>[8]</sup>.

Densitas pelet mentah yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan kendali mutu. Diketahui pula bahwa untuk tekanan 3 MP, tanpa melakukan *pre-treatment* terhadap serbuk terlebih dahulu, kedua serbuk dapat dikompakkan dan densitas yang dihasilkan memenuhi spesifikasi.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian memberikan kesimpulan bahwa *yellow cake* yang berasal dari limbah pabrik pupuk fosfat sangat potensial menjadi bahan baku pembuatan serbuk  $UO_2$  berderajat nuklir, meski masih perlu dilakukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kemurniannya. Serbuk  $UO_2$  yang berasal dari pabrik pupuk fosfat Petrokimia Gresik memiliki nilai rasio O/U 2,06 dengan densitas curah dan ketuk sebesar 1,0600 dan 1,8361  $g/cm^3$ . Serbuk  $UO_2$  yang berasal dari pabrik pupuk fosfat Petrokimia Gresik memiliki ukuran partikel sekitar 0,5 - 1  $\mu m$  dan rata-rata nilai densitas pelet mentah yang dihasilkan adalah 5,233923  $g/cm^3$ .

#### V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Yudhi S. Garno atas bimbingan dan masukannya. Bapak Ir. Bambang Herutomo selaku kepala bidang Bahan Bakar Nuklir. Bapak Ngatijo, Bapak Mahpudin, Bapak Mugiyono, Bapak Agus Sartono, Bapak Pranjono, Ibu Lilis W, Ibu Galuh yang telah membantu mendapatkan data. Ibu Heri Hardiyanti atas dukungannya yang luar biasa.

#### VI. SARAN

Perlu dilakukan perlakuan khusus untuk konversi serbuk *yellow cake* yang berasal dari limbah pupuk fosfat dikarenakan kadar pengotornya yang tinggi (terutama unsur Cu, Ca, Mn, Si, Al). Perlakuan khusus untuk meningkatkan kemurnian serbuk  $UO_2$  dari hasil konversi limbah pabrik pupuk

fosfat antara lain yaitu dengan memvariasikan parameter ekstraksi seperti komposisi ekstraktan, waktu kontak, suhu ekstraksi dan lain sebagainya.

#### VII. DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, (2013). <http://www.batan.go.id/Kamus/y.php>. Diakses 1 Oktober 2013
2. Ragheb, Magdi. M. Khasawneh, (2010), Uranium Fuel As By Product Of Phosphate Fertilizer Production. Proceeding Of The 1st International Nuclear And Renewable Energy Conference (INREC 10), Amman, Jordan
3. Riza, Faizal, (2006), Pengolahan Uranium Menjadi "Yellow Cake", Prosiding Seminar Nasional Ke-12 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir-BATAN, Yogyakarta, pp.164-174
4. Lee, Y.W. dan M. S. Yang, (1991), Characterization of HWR Fuel Pellets Fabricated Using  $UO_2$  Powders from Different Conversion Processes, Journal of Nuclear Materials, 178, 217-226
5. Rachmawati, Meniek, (2000), Karakterisasi dan Komparasi Serbuk  $UO_2$  dari Proses ADU dan AUC Selama Proses Pengompakan, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V, P2TBDU-BATAN, Jakarta, pp. 226-230
6. Sulistyono, Eddy, (2012), Kendali Kualitas Fabrikasi Elemen Bakar Nuklir, PUSDIKLAT BATAN, Jakarta
7. Glodenau, F. M. Spinzi, V. Balan, (1988), Correlation Between  $UO_2$  Powder and Pellet Quality in PHWR Fuel Manufacturing. Journal of Nuclear Materials, 153, 156 – 159
8. Sasongko, Heru, (1987), Petunjuk Pelaksanaan Kendali Mutu Laboratorium Fabrikasi Bahan Bakar, PTBN BATAN, Serpong

9. Rahmiati, Asminar, Purwadi, K.P., (2013), Penentuan Kandungan Pengotor Dalam Serbuk  $UO_2$  Hasil Konversi *Yellow Cake* Petro Kimia Gresik Dengan AAS, Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir, STTN-BATAN, Yogyakarta
10. US Pharmacopeia (2013), ([http://www.pharmacopeia.cn/v29240/usp\\_29nf\\_24s0\\_c616.html](http://www.pharmacopeia.cn/v29240/usp_29nf_24s0_c616.html)), diakses 10 September 2013