

## PEMBUATAN PELET SINTER $UO_2$ DIPERKAYA DAN PENYIAPAN KOMPONEN PERAKITAN PIN UJI ELEMEN BAKAR PWR

Tri Yulianto

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Dalam rangka penyiapan pin uji elemen bakar nuklir tipe PWR, telah dilakukan pembuatan pelet sinter  $UO_2$  diperkaya dan penyiapan komponen perakitan. Kegiatan meliputi proses peletisasi dan pembuatan komponen dengan tujuan untuk memperoleh pelet sinter  $UO_2$  diperkaya dan komponen pin uji elemen bakar PWR. Proses peletisasi dimulai dari karakterisasi serbuk  $UO_2$  kemudian dikompakkan menjadi pelet mentah dan selanjutnya dipanaskan dalam tungku sinter hingga dihasilkan pelet sinter  $UO_2$  sebagai bahan utama (bahan bakar) pin bahan bakar uji PWR. Pembuatan komponen meliputi penyiapan kelongsong dan pembuatan tutup dengan bahan zirkaloi 4. Kegiatan penelitian ini telah memperoleh karakter serbuk dan pelet sinter  $UO_2$  dengan pengkayaan 2%, 3%, 4% dan 5% serta satu set komponen pin uji elemen bakar PWR.

**Kata Kunci :** Pelet, Sinter, Pin Uji, PWR

### PENDAHULUAN

Pada umumnya bahan bakar untuk reaktor berpendingin air adalah uranium dioksida ( $UO_2$ ).  $UO_2$  dalam bentuk pelet yang telah disinter dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir untuk pembangkit listrik tenaga nuklir tipe *Light Water Reactor* (LWR) atau *Heavy Water Reactor* (HWR). Untuk reaktor jenis LWR (PWR/BWR) menggunakan bahan bakar dengan uranium diperkaya sedangkan untuk reaktor jenis HWR menggunakan uranium alam. Proses pembuatan pelet bahan bakar untuk elemen bakar LWR (PWR) maupun untuk elemen bakar HWR sama meskipun tingkat pengayaan uraniumnya berbeda.

Kualitas pelet tersebut sangat ditentukan oleh karakteristik serbuk dan parameter proses peletisasi. Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan serbuk yang sudah ada yang mempunyai karakter tertentu diproses menjadi pelet dengan mengatur parameter proses peletisasi untuk mendapatkan pelet yang memenuhi persyaratan. Selain itu, dapat juga dengan mengatur karakter serbuk kemudian dilakukan proses peletisasi menggunakan parameter tertentu. Pengembangan keahlian untuk dapat membuat pin uji elemen bakar PWR perlu dipersiapkan bahan bakarnya yang berupa pelet  $UO_2$  dan komponen pendukungnya. Bentuk Pin uji elemen bakar PWR disesuaikan dengan fasilitas yang ada di RSG-GAS yaitu sistem PRTF (*Power Ramp Test Facility*). Sebagai bahan komponen (kelongsong dan tutup) memakai bahan khusus *zirconium alloy* atau zirkaloi. Zirkaloi yang digunakan adalah jenis zirkaloi-4. Bahan ini mempunyai sifat penyerapan neutron yang rendah dengan sifat-sifat mekanis, fisis dan korosi yang cukup baik.

Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah untuk memperoleh pelet sinter  $UO_2$  diperkaya dan komponen perakitan pin uji elemen bakar PWR.

## METODOLOGI

### Tahapan Pembuatan Pelet Mentah

Kegiatan penelitian ini menggunakan serbuk  $UO_2$  diperkaya dengan pengkayaan 2%, 3%, 4% dan 5%. Sejumlah serbuk diambil dari gudang penyimpanan serbuk  $UO_2$ . Serbuk tersebut sebagian diambil secara acak untuk diamati karakter serbuknya yang meliputi : *O/U ratio*, *bulk density*, *tap density*, distribusi ukuran serbuk dan kadar air. Sejumlah serbuk yang ada ditambah dengan *Zink stearat* sebanyak 0,4 % berat total, kemudian diaduk dengan alat pencampur selama 30 menit. Hasil pencampuran tersebut dikompakkan langsung dengan mesin pres (ME-21). Pelet mentah yang dihasilkan mesin pres dilakukan pengukuran/karakterisasi yang meliputi : dimensi, berat dan densitas

### Tahapan Pembuatan Pelet Sinter

Pelet mentah hasil pengukuran kemudian dilakukan proses sintering dengan kondisi sintering sebagai berikut: laju pemanasan awal 250 °C/jam dengan atmosfer gas  $N_2$  sampai temperatur 700 °C atmosfer diganti dengan gas  $N_2+H_2$ . Pemanasan dilanjutkan dengan laju 250 °/jam sampai suhu 1700 °C dan temperatur ditahan selama 3 jam. Proses pendinginan dilakukan dengan laju 150 °C/jam sampai temperatur 700 °C atmosfer diganti dengan gas  $N_2$  kemudian pendinginan dilanjutkan sampai suhu kamar. Pelet sinter yang dihasilkan dilakukan pengukuran / karakterisasi yang meliputi : dimensi, berat, densitas dan *O/U ratio*.

### Tahapan Pembuatan Komponen

Kelongsong disiapkan dengan memotong dan membentuk bahan kelongsong zirkaloi-4 sesuai dengan gambar desain. Untuk memperoleh bentuk ujung yang baik serta untuk memperoleh panjang yang sesuai dengan yang ditentukan, pengerjaan dilakukan dengan mesin bubut. Pada bagian dalam dan luar kelongsong dibersihkan dari kotoran dan lemak dengan alkohol/*wash benzene*, kemudian dilakukan pencucian ultrasonic dengan alkohol 25 %.

Pembuatan tutup ujung dilakukan dengan cara membubut batang zirkaloi-4. Batang zirkaloi-4 dibentuk menjadi tutup ujung atas dan bawah sesuai dengan gambar desaaain. Untuk memperoleh bentuk dan ukuran yang seragam pembubutan dilakukan dengan mesin bubut presisi tinggi. Untuk menghilangkan lemak atau kotoran lainnya dilakukan pencucian seperti pada pencucian kelongsong.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyiapan Serbuk

Proses penyiapan serbuk  $UO_2$  diawali dengan melakukan karakterisasi serbuk yang meliputi, *bulk density*, *tap density*, *O/U ratio*, kadar air, dan distribusi ukuran partikel

Hasil karakterisasi serbuk  $UO_2$  disajikan dalam tabel 1, 2 dan 3.

Tabel 1. *Bulk density*, *Tap density* dan *True density*  $UO_2$  diperkaya

No.	Jenis densitas	Serbuk $UO_2$ diperkaya 2 % g/cc	Serbuk $UO_2$ diperkaya 3 % g/cc	Serbuk $UO_2$ diperkaya 4 % g/cc	Serbuk $UO_2$ diperkaya 5 % g/cc
1	Bulk density	2,0614	1,7415	2,1882	1,0154
2	Tap density	2,7169	2,7319	2,9659	2,8797
3	True density	10,7435	10,0344	10,1543	10,0085

Tabel 2. Pengukuran *O/U* dan kadar air dalam  $UO_2$  diperkaya

	Serbuk $UO_2$ diperkaya 2 %	Serbuk $UO_2$ diperkaya 3 %	Serbuk $UO_2$ diperkaya 4 %	Serbuk $UO_2$ diperkaya 5 %
<i>O/U ratio</i>	2,3444	2,3528	2,4702	2,4864
Kadar air, %	0,1506	0,4976	0,3732	0,7934

Tabel 3. Hasil pengayakan 100 gram serbuk  $UO_2$  diperkaya :

Ukuran ayakan	Serbuk $UO_2$ diperkaya 2%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 3%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 4%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 5%
	%	%	%	%
> 20 mess (> 850 micron)	0,215	5,2930	-	9,239
( 35-20) mess (500-850 micron)	0,102	38,189	-	30,886
(60-35) mess (250-500 micron)	0,051	24,708	0,066	22,125
(200-60) mess (75- 250 micron)	6,385	29,182	4,367	36,616
< 200 mess (< 75 micron)	93,248	2,624	95,567	1,134

### Pengompakan Serbuk

Pengompakan serbuk atau lebih dikenal dengan pembuatan pelet mentah meliputi proses pencampuran serbuk dengan bahan pelumas (Zn stearat) sebanyak 0.4% berat,

dan pengompakan akhir dengan gaya tekan 4 ton. Pelet mentah hasil pengompakan diukur dimensi serta berat dan selanjutnya dihitung densitasnya.

Pelet mentah dibuat dengan menggunakan mesin pres yang ukuran *punch and dies* sesuai dengan ukuran pelet mentah untuk bahan bakar PWR. Karakter fisik serbuk tidak dikondisikan atau tanpa perlakuan, tetapi pada proses pembuatan pelet mentah diatur parameter pengompakan untuk memperoleh spesifikasi pelet mentah yang memenuhi syarat. Hasil pengompakan serbuk  $UO_2$  menjadi pelet mentah untuk keempat macam serbuk ditunjukkan pada table 4.

Tabel 4. Hasil pengompakan serbuk  $UO_2$  diperkaya menjadi pelet mentah (*green pellet*).

	Serbuk $UO_2$ diperkaya 2%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 3%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 4%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 5%
Jumlah pelet	6	7	8	7
Tinggi rata2, mm	12,15	12,25	12,25	11,91
Diameter rata2, mm	11,19	11,12	11,15	11,1
Densitas rata2, g/cm <sup>3</sup>	5,67	6,09	5,98	5,54

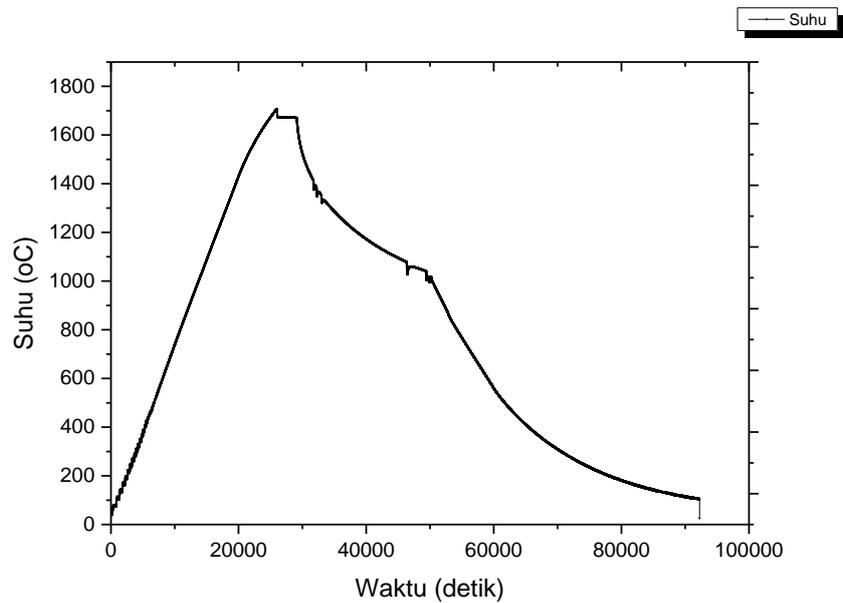
Tabel 4 memperlihatkan bahwa densitas pelet mentah diperoleh antara 5 – 6 gram/cm<sup>3</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk empat macam serbuk dengan pengkayaan yang berbeda memberikan hasil densitas pelet mentah yang memenuhi persyaratan (antara 50 - 60 % TD)

Tabel 2 menunjukkan bahwa *O/U ratio* terukur diatas 2,3 sedangkan persyaratan batas penerimaan sebesar 2,13. Hal Ini dikarenakan serbuk sudah lama tersimpan sehingga serbuk mengalami oksidasi dengan udara sekeliling. Kondisi *ratio O/U* ini akan diatasi pada proses berikutnya yaitu sintering. Dalam proses sintering menggunakan atmosfir hidrogen untuk mereduksi O sehingga *O/U ratio* mendekati 2.

Pelet mentah  $UO_2$  diperkaya yang telah dihasilkan kemudian dilakukan proses sintering menggunakan tungku sinter mini dengan parameter operasi :

Suhu sinterring	: 1700 °C
Waktu sintering	: 3 jam
Kenaikan suhu	: 250 °C per jam
Penurunan suhu	: 150 °C per jam
Atmosfir	: 2% H <sub>2</sub> dan 98% N <sub>2</sub>

Tampilan operasi keseluruhan Proses sintering pelet  $UO_2$  diperkaya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik proses sintering pelet  $UO_2$  diperkaya

Pelet sinter  $UO_2$  yang dihasilkan sebanyak 21 pelet dengan rinciannya ditunjukkan pada tabel 5. Sementara itu, bentuk pelet sinter  $UO_2$  diperkaya ditunjukkan pada gambar 2.

Tabel 5. Karakter pelet sinter  $UO_2$  diperkaya

	Serbuk $UO_2$ diperkaya 2%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 3%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 4%	Serbuk $UO_2$ diperkaya 5%
Jumlah pelet	6	5	5	5
Kondis pelet	utuh	retak/pecah	retak/pecah	utuh
Tinggi rata2, mm	9,78	-	-	10,26
Diameter rata2, mm	9,18	-	-	9,41
Densitas rata2, $g/cm^3$ , TD (teoritical density)	10,02 (91,36 %TD)	-	-	8,35 (76,07 %TD)
O/U	2,0012	2,0011	2,0008	2,0051



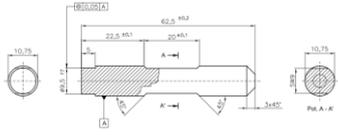
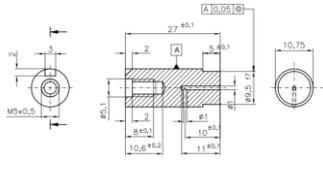
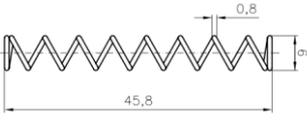
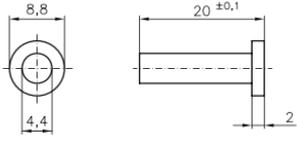
Gambar 2. Pelet sinter  $UO_2$  diperkaya

Pelet sinter yang dihasilkan seperti terlihat pada gambar 2 untuk  $UO_2$  dengan pengkayaan 3% dan 4% mengalami retak/pecah sehingga dimensi pelet tidak bisa diukur. Sementara itu, untuk  $UO_2$  dengan pengkayaan 2% dan 5% diperoleh pelet sinter utuh tidak ada yang retak/pecah. Hasil pengukuran dimensi dan perhitungan densitas diperoleh pelet sinter  $UO_2$  sebesar  $10,02 \text{ gram/Cm}^3$  (91,36 %TD) untuk pengkayaan 2% dan  $8,35 \text{ gram/Cm}^3$  (76,07 %TD) untuk pengkayaan 5%. Untuk persyaratan bahan bakar PWR densitas pelet sinter > 90 %TD.

Ke-empat macam pelet sinter yang dihasilkan memberikan harga O/U ratio yang cukup rendah hampir mendekati 2. Hal ini menunjukkan bahwa sintering dengan atmosfer 2%  $H_2$  dan 98%  $N_2$  cukup untuk mereduksi  $UO_2$  dengan nilai O/U ratio antara 2,34 sampai dengan 2,48 menjadi 2,0008 sampai dengan 2,0051. Untuk persyaratan bahan bakar  $UO_2$  nilai O/U ratio < 2,015.

Pembuatan komponen pin uji bahan bakar PWR dibuat dan disiapkan berdasarkan gambar desain yang telah dibuat. Hasil pengerjaan mekanik yang berupa pembubutan terhadap benda kerja diperoleh kelongsong, tutup dan penyangga pegas masing masing 1 buah. Hasil pembuatan dan penyiapan komponen pin uji elemen bakar PWR tersebut ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Komponen pin uji elemen bakar PWR

Komponen	Gambar desain	Prototipe
Kelongsong		
Tutup bawah		
Tutup atas		
Pegas		
Penyangga pegas		

**KESIMPULAN**

1. Dalam proses peletisasi karakter serbuk awal sangat menentukan kualitas pelet sinter yang dihasilkan
2. Densitas pelet sinter yang memenuhi untuk elemen bakar nuklir PWR adalah serbuk UO<sub>2</sub> dengan pengkayaan 2 % , dengan harga densitas sebesar 10,02 gram/cm<sup>3</sup> (91,36 %TD)
3. Harga O/U *ratio* serbuk (2,34 – 2,48) berubah menjadi (2,008 – 2,0051) setelah menjadi pelet sinter oleh karena ada reaksi reduksi dengan hidrogen.
4. Diperoleh satu set komponen pin uji bahan bakar PWR

**DAFTAR PUSTAKA**

1. HIDAYAT, N, “*Fabrikasi Elemen Bakar Cirene* ” , Prosiding Pertemuan Ilmiah Teknologi Bahan dan Pengolahan Limbah Radioaktif, Jakarta , 1987.
2. Dokumen fabrikasi elemen bakar Cirene.
3. Glodeau, F, Spinzi, M abd Balan, V, “*Correlation Between UO2 Powder and Pellet Quality in PHWR Fuel Manufacturing*”,*Journal of Nuclear Materials* Vol. 153, page 156 – 159 North-Holland, Amsterdam, 1988.
4. Nero, Anthony V, “ *A Guidebook to Nuclear Reactor*”, University of California Press, 1979
5. Bernhard Kienzler et al., “The 7<sup>th</sup> Framework Programme Collaborative Project FIRST- Nuclides: State of the Art and Rationale for Experimental Investigation”, European Commission, 2012