

## PERAKITAN PIN UJI BAHAN BAKAR PWR DENGAN UO<sub>2</sub> DIPERKAYA

Tri Yulianto, Torowati, Deni Mustika, Mu`nisatun Sholikhah  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Dalam rangka mewujudkan domestifikasi fabrikasi bahan bakar nuklir, saat ini telah dilakukan penelitian pengembangan teknologi produksi bahan bakar reaktor daya tipe PWR. Kegiatan litbang telah berlangsung diantaranya dengan melakukan perakitan pin uji bahan PWR yang sesuai dengan desain fasilitas iradiasi bahan bakar yang ada di RSG GAS yaitu PRTF (*Power Ramp Test Facility*). Kegiatan ini merupakan kegiatan lanjutan dalam program iradiasi pin uji bahan PWR, dimana sebelumnya telah dibuat prototipe pin uji dengan menggunakan bahan bakar UO<sub>2</sub> alam. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan rakitan pin uji bahan bakar PWR dengan UO<sub>2</sub> diperkaya 2%. Pin bahan bakar uji mempunyai bentuk sederhana dengan panjang total 446 mm dan diameter 10,75 mm. Kegiatan diawali dengan pembuatan pelet mentah yang dilanjutkan proses *sintering* dengan bahan utama UO<sub>2</sub> diperkaya. Secara paralel dilakukan kegiatan pembuatan atau penyiapan komponen pin uji dengan menggunakan bahan zircaloy 4. Pelet sinter yang dihasilkan dari proses peletisasi sebagian besar mengalami keretakan/pecah dan komponen pin yang dihasilkan masih ada beberapa ukuran komponen yang belum dipenuhi. Kegiatan perakitan pin ini perlu dilanjutkan dengan mengatur ulang parameter peletisasian dan membuat komponen pin dengan alat yang presisi.

**Kata kunci** : perakitan, bahan bakar, pin, PWR.

### PENDAHULUAN

Sampai saat ini Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN ) merupakan salah satu alternatif<sup>[1]</sup> yang potensial untuk pembangkit energi. Berbagai negara termasuk Indonesia telah mempersiapkan program pembangunan PLTN. Meskipun masyarakat dunia selalu dibayangi oleh perasaan khawatir akan potensi bahaya radiasi, tetapi pembangunan PLTN tetap berjalan, bahkan program penelitian dan pengembangan semakin ditingkatkan disini guna mendapatkan reaktor nuklir yang aman dan ekonomis.

Salah satu komponen yang memberikan kontribusi cukup besar terhadap pembangkitan listrik PLTN adalah biaya untuk fabrikasi elemen bakar yaitu sekitar 30 %<sup>[2]</sup>. Tahapan fabrikasi ini dimaksudkan untuk memperoleh bahan bakar dengan persyaratan dan spesifikasi tertentu yang sesuai dengan tipe atau jenis reaktor yang dimaksud sehingga tahapan ini merupakan salah satu tahapan penting didalam daur bahan bakar nuklir.

Elemen bakar nuklir merupakan salah satu komponen reaktor yang terdiri dari bahan bakar dan dibungkus dengan kelongsong. Persyaratan bahan yang bisa dipakai sebagai bahan bakar nuklir ialah bahan yang dapat belah (bahan fisil). Ada 4 macam

isotop dapat belah yaitu :  $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  dan  $^{241}\text{Pu}$  [3], namun yang ada dialam hanya  $^{235}\text{U}$  dengan kadar 0,71 %. Pemakaian kelongsong (dari bahan non fisil) dimaksudkan sebagai penahan untuk menahan hasil fisi jika keluar dari matrik bahan bakar selain juga sebagai media untuk mentransfer panas dan penahan korosi oleh media pendingin. Selama iradiasi di reaktor bahan bakar yang berupa pelet keramik  $\text{UO}_2$  bisa retak, dan dalam hal ini kelongsong bertindak sebagai wadah agar pelet tetap berada dalam kelongsong dan produk fisi tidak keluar ke pendingin<sup>[4]</sup>.

Dalam mengembangkan keahlian untuk mendukung program PLTN terutama dalam mempersiapkan bahan bakar untuk reaktor perlu adanya kegiatan litbang, diantaranya adalah litbang fabrikasi bahan bakar. Dalam kegiatan ini telah dilakukan persiapan untuk mewujudkan elemen bakar berbentuk pin uji elemen untuk PLTN jenis PWR. Bentuk Pin bahan bakar uji disesuaikan dengan tempat pengujian yaitu di PRTF RSG-GAS. Sebagai bahan utamanya dalam percobaan ini adalah uranium dioksida ( $\text{UO}_2$ ) diperkaya dan sebagai bahan konstruksi (kelongsong dan tutup) memakai bahan khusus zirconium alloy atau zircalloy<sup>[5]</sup>. Kegiatan ini merupakan kegiatan lanjutan dari kegiatan sebelumnya. Kegiatan yang pernah dilakukan yaitu perakitan pin uji elemen bakar PWR dengan bahan bakar yang digunakan adalah  $\text{UO}_2$  alam.

## **METODOLOGI**

Kegiatan fabrikasi prototipe pin uji elemen bakar PWR meliputi proses peletisasi, pembuatan komponen dan perakitan dengan tujuan memperoleh rakitan pin uji elemen bakar yang sesuai dengan desain elemen bakar di PRTF RSG GAS. Sebagai bahan utama pin uji bahan bakar PWR adalah pelet  $\text{UO}_2$  dengan pengkayaan 2% yang dibuat melalui proses peletisasi. Proses peletisasi dimulai dari pencampuran serbuk  $\text{UO}_2$  dengan pelumas kemudian dikompakkan mejadi pelet mentah dan selanjutnya dipanaskan dalam tungku sinter hingga dihasilkan pelet sinter  $\text{UO}_2$ . Pembuatan komponen meliputi penyiapan kelongsong dan pembuatan tutup dengan bahan zircaloy 4. Proses perakitan meliputi pengisian baris pelet ke dalam kelongsong, pengelasan dan pengisian gas helium.

### **a. Tahapan pembuatan pelet mentah**

Kegiatan penelitian ini menggunakan serbuk  $\text{UO}_2$  diperkaya dengan pengkayaan 2%. Sejumlah serbuk  $\text{UO}_2$  diperkaya 2% diambil dari gudang bahan bakar ditambah dengan Zink stearat sebanyak 0,4 % berat total, kemudian dicampur dengan ini menggunakan alat pencampur selama 30 menit. Hasil pencampuran tersebut

dikompakkan langsung dengan menggunakan mesin *press* (ME-21). Pelet mentah yang dihasilkan dikenai pengukuran / karakterisasi yang meliputi : dimensi, berat dan densitas.

#### **b. Tahapan pembuatan pelet sinter**

Pelet mentah hasil pengompakan kemudian dikenai proses *sintering* dengan kondisi *sintering* : laju pemanasan awal 250 °C/jam dengan atmosfer gas N<sub>2</sub> sampai temperatur 700 °C atmosfer diganti dengan gas N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> . Pemanasan dilanjutkan dengan laju 250 °/jam sampai temperatur 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<sub>2</sub> kemudian pendinginan dilanjutkan sampai temperatur kamar. Pelet sinter yang dihasilkan dikenai pengukuran / karakterisasi yang meliputi : dimensi, berat, densitas.

#### **c. Tahapan pembuatan komponen**

Kelongsong disiapkan dengan memotong dan membentuk dari bahan kelongsong zircaloy 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* bensin, kemudian dikenai pencucian *ultrasonic* dengan alkohol 25 %, langkah terakhir dilakukan pengukuran dimensi kelongsong.

Pembuatan tutup ujung dilakukan dengan cara membubut batang zircaloy-4. Batang zircaloy-4 dibentuk menjadi tutup ujung atas dan bawah sesuai dengan gambar desain. Agar diperoleh bentuk dan ukuran yang seragam pembubutan dilakukan dengan mesin bubut. Untuk menghilangkan lemak atau kotoran lainnya dilakukan pencucian seperti pada pencucian kelongsong, selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi terhadap tutup bawah, tutup atas dan komponen lainnya.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pembuatan pelet mentah dengan menggunakan mesin pres menghasilkan 39 buah pelet mentah seperti ditampilkan pada Gambar 1 sedangkan karakteristik pelet mentah disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Pelet mentah  $UO_2$  diperkaya 2 %

Tabel 1. Karakter pelet mentah  $UO_2$  diperkaya 2 %

No.Pelet	Diameter Rata-rata (mm)	Tinggi Rata-rata (mm)	Berat Pelet (g)	Densitas (g/cc)	% Thd Densitas Teoritis (% TD)
1	11.13	11.29	6.5030	6.0740	55.3695
2	11.14	11.39	6.7071	6.2008	56.5252
3	11.13	11.27	6.5800	6.1627	56.1773
4	11.14	11.15	6.4843	6.1309	55.8883
5	11.13	11.12	6.4581	6.1323	55.9007
6	11.14	11.10	6.4609	6.1315	55.8934
7	11.14	11.26	6.5548	6.1318	55.8962
8	11.13	11.23	6.5341	6.1347	55.9223
9	11.14	11.36	6.6273	6.1436	56.0040
10	11.13	10.92	6.3050	6.0959	55.5690
11	11.14	11.14	6.4532	6.1054	55.6553
12	11.13	11.22	6.5285	6.1424	55.9924
13	11.14	11.29	6.5732	6.1341	55.9172
14	11.14	11.12	6.4594	6.1170	55.7611
15	11.14	11.48	6.7187	6.1653	56.2013
16	11.14	11.11	6.4712	6.1412	55.9815
17	11.14	11.43	6.6743	6.1520	56.0804
18	11.14	11.28	6.5548	6.1188	55.7776
19	11.14	11.28	6.5542	6.1201	55.7894
20	11.14	11.34	6.6139	6.1405	55.9750
21	11.15	11.41	6.6191	6.0975	55.5835
22	11.14	11.31	6.5919	6.1330	55.9072
23	11.14	11.40	6.6291	6.1287	55.8678
24	11.15	11.24	6.5330	6.1116	55.7120
25	11.14	11.46	6.6695	6.1219	55.8062

26	11.14	11.22	6.5172	6.1134	55.7285
27	11.13	11.44	6.6898	6.1645	56.1939
28	11.15	11.42	6.6071	6.0828	55.4494
29	11.14	11.13	6.4117	6.0680	55.3144
30	11.14	11.15	6.3926	6.0352	55.0152
31	11.15	11.18	6.4929	6.1112	55.7083
32	11.14	11.22	6.5005	6.1051	55.6529
33	11.14	11.05	6.4029	6.1029	55.6329
34	11.14	11.04	6.4404	6.1461	56.0269
35	11.14	11.11	6.3301	6.0073	54.7609
36	11.15	11.15	6.4486	6.0845	55.4648
37	11.14	11.16	6.4677	6.1078	55.6769
38	11.14	11.12	6.4280	6.0909	55.5233
39	11.15	11.12	6.4337	6.0909	55.5231

Dari hasil pengompakan serbuk  $UO_2$  diperkaya 2 % secara visual seperti terlihat pada Gambar 1 menunjukkan hasil yang baik dengan indikasi tidak ada yang pecah dan dari Tabel 1 rata-rata mempunyai harga densitas diatas 50% TD. Pelet mentah hasil pengompakan tersebut layak untuk dilakukan proses peletisasi lanjutan yaitu proses sintering.

Proses *sintering* terhadap pelet mentah yang telah dihasilkan dilakukan menggunakan tungku sinter mini dengan parameter proses sebagai berikut <sup>[6]</sup>.

Temperatur <i>sinterring</i>	: 1700 °C
Waktu <i>sintering</i>	: 3 jam
Kenaikan temperatur	: 250 °C per jam
Penurunan temperatur	: 150 °C per jam
Atmosfir	: 2% $H_2$ dan 98% $N_2$

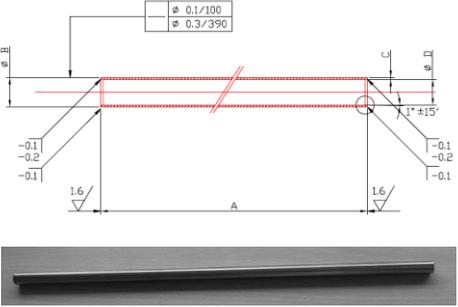
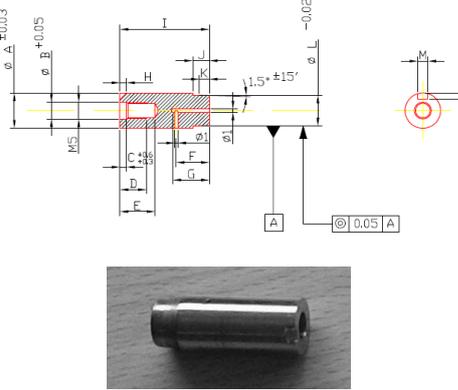
Pelet sinter yang dihasilkan dari proses *sintering* tersebut sebagian besar mengalami keretakan/pecah seperti ditampilkan pada Gambar 2 sehingga belum diperoleh pelet sinter untuk bahan bakar pin uji PWR. Kegiatan pembuatan pelet mentah perlu dilanjutkan lagi dengan mengatur ulang parameter prosesnya, namun hal ini belum bisa dilakukan karena alat *press* yang digunakan untuk membuat pelet mentah tersebut mengalami kerusakan pada sistem hidroliknya.

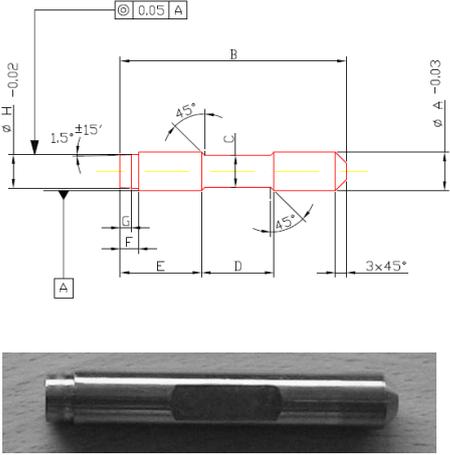
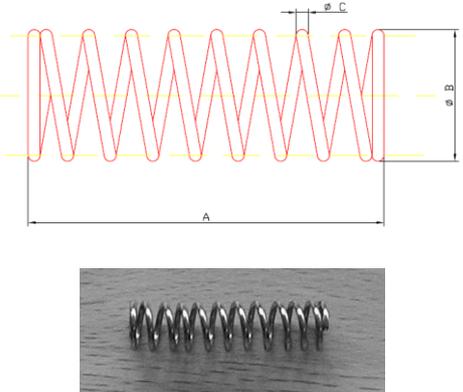
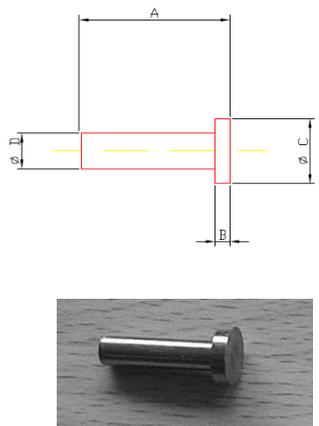


Gambar 2. Pelet sinter UO<sub>2</sub> diperkaya

Dari kegiatan pembuatan komponen yang meliputi penyiapan kelongsong, pembuatan tutup dan penyiapan komponen lainnya setelah dilakukan pengukuran dimensi, diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 . Komponen pin uji elemen bakar PWR [7]

Gambar komponen elemen bakar uji	Hasil pengukuran																																																																																																																					
 <p style="text-align: center;"><b>Kelongsong</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DIMENS</th> <th rowspan="2">NOMIN</th> <th colspan="5">HASIL UJI</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>RATA-RATA</th> <th>STDEV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>366.50</td> <td>366.48</td> <td>366.48</td> <td>366.50</td> <td>366.49</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>10.75</td> <td>10.75</td> <td>10.75</td> <td>10.75</td> <td>10.75</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.73</td> <td>0.75</td> <td>0.70</td> <td>0.70</td> <td>0.72</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>9.30</td> <td>9.30</td> <td>9.25</td> <td>9.30</td> <td>9.28</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Berat (g)</td> <td></td> <td>54.77</td> <td>54.77</td> <td>54.77</td> <td>54.77</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENS	NOMIN	HASIL UJI					1	2	3	RATA-RATA	STDEV	A	366.50	366.48	366.48	366.50	366.49	0.01	B	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	0.00	C	0.73	0.75	0.70	0.70	0.72	0.03	D	9.30	9.30	9.25	9.30	9.28	0.03	Berat (g)		54.77	54.77	54.77	54.77	0.00																																																																						
DIMENS	NOMIN			HASIL UJI																																																																																																																		
		1	2	3	RATA-RATA	STDEV																																																																																																																
A	366.50	366.48	366.48	366.50	366.49	0.01																																																																																																																
B	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	0.00																																																																																																																
C	0.73	0.75	0.70	0.70	0.72	0.03																																																																																																																
D	9.30	9.30	9.25	9.30	9.28	0.03																																																																																																																
Berat (g)		54.77	54.77	54.77	54.77	0.00																																																																																																																
 <p style="text-align: center;"><b>Tutup atas</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DIMENSI</th> <th rowspan="2">NOMINAL</th> <th colspan="5">HASIL UJI</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>RATA-RATA</th> <th>STDEV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>10,75<sup>±0.03</sup></td> <td>10.74</td> <td>10.74</td> <td>10.74</td> <td>10.74</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>5,1<sup>±0.06</sup></td> <td>5.25</td> <td>5.25</td> <td>5.25</td> <td>5.25</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>2 -<sub>0.3</sub><sup>+0.6</sup></td> <td>1.65</td> <td>1.65</td> <td>1.70</td> <td>1.67</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>8</td> <td>10.20</td> <td>10.40</td> <td>10.40</td> <td>10.33</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>10,6</td> <td>10.70</td> <td>10.70</td> <td>10.70</td> <td>10.70</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>10</td> <td>9.55</td> <td>9.50</td> <td>9.50</td> <td>9.52</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>11</td> <td>10.50</td> <td>10.50</td> <td>10.50</td> <td>10.50</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>2</td> <td>1.95</td> <td>2.00</td> <td>2.00</td> <td>1.98</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>27</td> <td>27.1</td> <td>27.10</td> <td>27.10</td> <td>27.10</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>J</td> <td>5</td> <td>5.35</td> <td>5.40</td> <td>5.40</td> <td>5.38</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>9,35<sup>0.02</sup></td> <td>9.30</td> <td>9.25</td> <td>9.25</td> <td>9.27</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>3</td> <td>3.10</td> <td>3.10</td> <td>3.05</td> <td>3.08</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>2</td> <td>1.40</td> <td>1.45</td> <td>1.45</td> <td>1.43</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Berat (g)</td> <td></td> <td>13.8897</td> <td>13.8896</td> <td>13.8896</td> <td>13.89</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSI	NOMINAL	HASIL UJI					1	2	3	RATA-RATA	STDEV	A	10,75 <sup>±0.03</sup>	10.74	10.74	10.74	10.74	0.00	B	5,1 <sup>±0.06</sup>	5.25	5.25	5.25	5.25	0.00	C	2 - <sub>0.3</sub> <sup>+0.6</sup>	1.65	1.65	1.70	1.67	0.03	D	8	10.20	10.40	10.40	10.33	0.12	E	10,6	10.70	10.70	10.70	10.70	0.00	F	10	9.55	9.50	9.50	9.52	0.03	G	11	10.50	10.50	10.50	10.50	0.00	H	2	1.95	2.00	2.00	1.98	0.03	I	27	27.1	27.10	27.10	27.10	0.00	J	5	5.35	5.40	5.40	5.38	0.03	K	3	-	-	-	-	-	L	9,35 <sup>0.02</sup>	9.30	9.25	9.25	9.27	0.03	M	3	3.10	3.10	3.05	3.08	0.03	N	2	1.40	1.45	1.45	1.43	0.03	Berat (g)		13.8897	13.8896	13.8896	13.89	0.00
DIMENSI	NOMINAL			HASIL UJI																																																																																																																		
		1	2	3	RATA-RATA	STDEV																																																																																																																
A	10,75 <sup>±0.03</sup>	10.74	10.74	10.74	10.74	0.00																																																																																																																
B	5,1 <sup>±0.06</sup>	5.25	5.25	5.25	5.25	0.00																																																																																																																
C	2 - <sub>0.3</sub> <sup>+0.6</sup>	1.65	1.65	1.70	1.67	0.03																																																																																																																
D	8	10.20	10.40	10.40	10.33	0.12																																																																																																																
E	10,6	10.70	10.70	10.70	10.70	0.00																																																																																																																
F	10	9.55	9.50	9.50	9.52	0.03																																																																																																																
G	11	10.50	10.50	10.50	10.50	0.00																																																																																																																
H	2	1.95	2.00	2.00	1.98	0.03																																																																																																																
I	27	27.1	27.10	27.10	27.10	0.00																																																																																																																
J	5	5.35	5.40	5.40	5.38	0.03																																																																																																																
K	3	-	-	-	-	-																																																																																																																
L	9,35 <sup>0.02</sup>	9.30	9.25	9.25	9.27	0.03																																																																																																																
M	3	3.10	3.10	3.05	3.08	0.03																																																																																																																
N	2	1.40	1.45	1.45	1.43	0.03																																																																																																																
Berat (g)		13.8897	13.8896	13.8896	13.89	0.00																																																																																																																

 <p style="text-align: center;"><b>Tutup bawah</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DIMENSI</th> <th rowspan="2">Nominal</th> <th colspan="5">HASIL UJI</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>RATA-RATA</th> <th>STDEV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>10,75<sub>-0,03</sub></td> <td>10.72</td> <td>10.72</td> <td>10.72</td> <td>10.72</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>62,5</td> <td>62.60</td> <td>62.65</td> <td>62.60</td> <td>62.62</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>SW 9</td> <td>8.80</td> <td>8.80</td> <td>8.80</td> <td>8.80</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>20</td> <td>19.85</td> <td>19.85</td> <td>19.90</td> <td>19.87</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>22,5</td> <td>23.45</td> <td>23.45</td> <td>23.40</td> <td>23.43</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>5</td> <td>4.80</td> <td>4.85</td> <td>4.90</td> <td>4.85</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>9,35<sub>-0,02</sub></td> <td>9.25</td> <td>9.25</td> <td>9.25</td> <td>9.25</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Berat (g)</td> <td></td> <td>34.4752</td> <td>34.4753</td> <td>34.4752</td> <td>34.4753</td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSI	Nominal	HASIL UJI					1	2	3	RATA-RATA	STDEV	A	10,75 <sub>-0,03</sub>	10.72	10.72	10.72	10.72	0.00	B	62,5	62.60	62.65	62.60	62.62	0.03	C	SW 9	8.80	8.80	8.80	8.80	0.00	D	20	19.85	19.85	19.90	19.87	0.03	E	22,5	23.45	23.45	23.40	23.43	0.03	F	5	4.80	4.85	4.90	4.85	0.05	G	3	-	-	-	-	-	H	9,35 <sub>-0,02</sub>	9.25	9.25	9.25	9.25	0.00	Berat (g)		34.4752	34.4753	34.4752	34.4753	0.0000
DIMENSI	Nominal			HASIL UJI																																																																								
		1	2	3	RATA-RATA	STDEV																																																																						
A	10,75 <sub>-0,03</sub>	10.72	10.72	10.72	10.72	0.00																																																																						
B	62,5	62.60	62.65	62.60	62.62	0.03																																																																						
C	SW 9	8.80	8.80	8.80	8.80	0.00																																																																						
D	20	19.85	19.85	19.90	19.87	0.03																																																																						
E	22,5	23.45	23.45	23.40	23.43	0.03																																																																						
F	5	4.80	4.85	4.90	4.85	0.05																																																																						
G	3	-	-	-	-	-																																																																						
H	9,35 <sub>-0,02</sub>	9.25	9.25	9.25	9.25	0.00																																																																						
Berat (g)		34.4752	34.4753	34.4752	34.4753	0.0000																																																																						
 <p style="text-align: center;"><b>Pegas</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DIMENSI</th> <th rowspan="2">NOMINAL</th> <th colspan="5">HASIL UJI</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>RATA-RATA</th> <th>STDEV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>45.80</td> <td>29.10</td> <td>29.00</td> <td>29.00</td> <td>29.03</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>6.00</td> <td>8.00</td> <td>8.00</td> <td>8.00</td> <td>8.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.80</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>A*)</td> <td>35.00</td> <td>28.40</td> <td>28.40</td> <td>28.45</td> <td>28.42</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Gaya pegas (N)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Jumlah Lilitan Efektif</td> <td></td> <td>11.00</td> <td>4.85</td> <td>4.90</td> <td>6.92</td> <td>3.54</td> </tr> <tr> <td>Jumlah Total Lilitan</td> <td></td> <td>12.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tegangan geser (N/mm<sup>2</sup>)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Berat (g)</td> <td></td> <td>1.5620</td> <td>1.5620</td> <td>1.5620</td> <td>1.5620</td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSI	NOMINAL	HASIL UJI					1	2	3	RATA-RATA	STDEV	A	45.80	29.10	29.00	29.00	29.03	0.06	B	6.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00	C	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	A*)	35.00	28.40	28.40	28.45	28.42	0.03	Gaya pegas (N)							Jumlah Lilitan Efektif		11.00	4.85	4.90	6.92	3.54	Jumlah Total Lilitan		12.00					Tegangan geser (N/mm <sup>2</sup> )							Berat (g)		1.5620	1.5620	1.5620	1.5620	0.0000
DIMENSI	NOMINAL			HASIL UJI																																																																								
		1	2	3	RATA-RATA	STDEV																																																																						
A	45.80	29.10	29.00	29.00	29.03	0.06																																																																						
B	6.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00																																																																						
C	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00																																																																						
A*)	35.00	28.40	28.40	28.45	28.42	0.03																																																																						
Gaya pegas (N)																																																																												
Jumlah Lilitan Efektif		11.00	4.85	4.90	6.92	3.54																																																																						
Jumlah Total Lilitan		12.00																																																																										
Tegangan geser (N/mm <sup>2</sup> )																																																																												
Berat (g)		1.5620	1.5620	1.5620	1.5620	0.0000																																																																						
 <p style="text-align: center;"><b>Penahan pegas</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DIMENS</th> <th rowspan="2">NOMIN AL</th> <th colspan="5">HASIL UJI</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>RATA-RATA</th> <th>STDEV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>20.00</td> <td>20.15</td> <td>20.15</td> <td>20.15</td> <td>20.15</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>2.00</td> <td>2.30</td> <td>2.30</td> <td>2.30</td> <td>2.30</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>8.80</td> <td>8.85</td> <td>8.85</td> <td>8.85</td> <td>8.85</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>4.80</td> <td>5.00</td> <td>5.00</td> <td>5.00</td> <td>5.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Berat (g)</td> <td></td> <td>3.8354</td> <td>3.8354</td> <td>3.8354</td> <td>3.8354</td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENS	NOMIN AL	HASIL UJI					1	2	3	RATA-RATA	STDEV	A	20.00	20.15	20.15	20.15	20.15	0.00	B	2.00	2.30	2.30	2.30	2.30	0.00	C	8.80	8.85	8.85	8.85	8.85	0.00	D	4.80	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	Berat (g)		3.8354	3.8354	3.8354	3.8354	0.0000																												
DIMENS	NOMIN AL			HASIL UJI																																																																								
		1	2	3	RATA-RATA	STDEV																																																																						
A	20.00	20.15	20.15	20.15	20.15	0.00																																																																						
B	2.00	2.30	2.30	2.30	2.30	0.00																																																																						
C	8.80	8.85	8.85	8.85	8.85	0.00																																																																						
D	4.80	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00																																																																						
Berat (g)		3.8354	3.8354	3.8354	3.8354	0.0000																																																																						

Proses penyiapan kelongsong tidak banyak melibatkan pengerjaan mekanik karena kelongsong dalam bentuk jadi sudah ada sehingga hanya memotong panjang yang diperlukan dan membentuk ujung-ujungnya. Dari hasil pengukuran kelongsong yang

dihasilkan diperoleh hasil yang mirip dengan desain, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Dua tutup yang dibuat yaitu tutup atas dan tutup bawah akan dipasang pada kedua ujung kelongsong, bentuk dan ukuran tutup dapat dilihat pada gambar yang ada di Tabel 2. Komponen tutup atas maupun tutup bawah salah satu ujungnya dibuat tirus dengan sudut kemiringan  $1,5^{\circ}$  dan panjang 3 mm. Pembentukan ujung tersebut dimaksudkan untuk memudahkan pemasangan pada kelongsong. Pada salah satu ujung dari tutup atas dibuat lubang berdiameter 1 mm berbentuk L tembus pada dinding sepanjang 11 mm. Pembuatan lubang ini dimaksudkan bila dilakukan pengelasan tutup bawah (yang terakhir), udara didalam kelongsong bisa keluar melalui lubang dalam yang berbentuk L tersebut. Lubang tersebut juga berfungsi untuk sarana pengisian gas *inert* helium pada waktu proses perakitan pin uji berlangsung dan selanjutnya lubang tersebut ditutup dengan cara las.

Dari hasil pengukuran tutup atas maupun bawah terlihat ada beberapa ukuran komponen yang belum dipenuhi, hal ini diduga karena hasil yang diinginkan menuntut presisi tinggi sedangkan alat bubut yang digunakan masih manual sehingga ada keterbatasan pada ketrampilan sumber daya manusia yang ada.

## KESIMPULAN

Dari kegiatan perakitan pin uji bahan bakar PWR dapat disimpulkan bahwa proses perakitan belum bisa menghasilkan prototip pin uji bahan bakar PWR karena masih belum diperoleh pelet sinter  $UO_2$  dan belum terpenuhinya persyaratan komponen pin uji. Kegiatan ini perlu dilanjutkan dengan memperbaiki peralatan peletisasi, mengatur ulang parameter proses pengompakan dan membuat komponen pin uji dengan alat yang lebih presisi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Tri Yulianto, (2015), Peningkatan Kualitas Pelet Bahan Bakar  $UO_2$  Dengan Penambahan Dopan Keramik dan Dopan Logam, Makalah yang dipresentasikan pada pertemuan ilmiah peneliti madya, PTBBN 21 September 2015, PM 318/15
2. <http://www.batan.go.id/ensiklopedi/04/01/01/02/04-01-01-02.html>
3. <http://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir>

4. Edy Sulistyono, Ety Marti Wigayati, *Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir, Reaktor, Volume XI. No. 2, Oktober 2014*
5. Tri Yulianto, Pembuatan Prototipe Bahan Bakar Reaktor Daya , Prosiding HASIL-HASIL PENELITIAN EBN TAHUN 2012, ISSN 0854-5561. Halaman 1 –12
6. Dokumen Fabrikasi Elemen Bakar Cirene.
7. Dokumen Fabrikasi Pin Uji Elemen Bakar PWR