

PELAKSANAAN KENDALI KUALITAS BAHAN BAKAR NUKLIR DAN PENGEMBANGAN METODE ANALISIS

Torowati, Deni Mustika, Ngatijo, Mu'nisatun, Asminar, Rahmiati, Lilis W.
Pranono, Banawa Sri G., Mujinem, Slamet Pribadi, Siti Aidah dan Isfandi
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Kegiatan pengujian kendali kualitas bahan bakar nuklir dan komponen telah dilakukan di Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir (BFBBN), Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN). Tujuan kegiatan kendali kualitas untuk mendukung penelitian dan pengembangan (litbang) fabrikasi elemen bakar nuklir untuk reaktor daya maupun riset. Kegiatan yang dilakukan di kendali kualitas ada 2 macam yaitu rutin dan non rutin. Kegiatan rutin merupakan kegiatan pengoperasian peralatan untuk pengujian/karakterisasi bahan bakar nuklir dan komponen serta kegiatan perawatan alat untuk pengujian. Tujuan perawatan alat agar alat selalu bersih dan siap untuk melakukan pengujian dan apabila tidak dapat difungsikan maka secara cepat dapat ditindak lanjuti. Dalam kegiatan non rutin telah dilakukan pengujian untuk mendukung laboratorium uji (LUB), 5R dan pengembangan metode analisis. Pengembangan metode analisis dilakukan dalam pengujian unsur-unsur dalam larutan uranium menggunakan AAS dengan menggunakan resin amberlite dalam proses pemisahan uraniumnya. Salah satu kegiatan dalam mendukung litbang bahan bakar nuklir adalah pengujian serbuk uranium dioksida (UO_2) diperkaya 2,015%, 2,992%, 3,980% dan 4,953%. Jenis pengujian yang dilakukan meliputi kadar uranium, karbon, unsur-unsur pengotor, *tap density* dan *bulk density*. Hasil kadar uranium lebih kecil dari batas keberterimaannya sedangkan hasil unsur-unsur pengotor dalam batas keberterimaan kecuali unsur Al lebih besar dari batas keberterimaan. Hasil kadar karbon dalam batas keberterimaan, *bulk density* hanya pengkayaan 2,992% yang masuk batas keberterimaan dan hasil pengujian *tap density* dalam batas keberterimaan.

Kata kunci: kendali kualitas, bahan bakar nuklir, pengujian, perawatan

PENDAHULUAN

Dalam Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 21 Tahun 2014 dijelaskan bahwa salah satu unit kerja dibawah Deputi Bidang Teknologi Energi Nuklir (TEN) adalah Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN). Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir mempunyai tugas pokok dan fungsi (tupoksi) diantaranya melaksanakan penelitian dan pengembangan (litbang) teknologi produksi bahan bakar nuklir untuk reaktor daya dan riset yang dilaksanakan oleh Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir (BFBBN)^[1,2].

Litbang untuk reaktor daya meliputi: proses konversi *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 *nuclear grade* dapat sinter serta fabrikasi elemen bakar nuklir berbasis pelet UO_2 sinter. Litbang untuk reaktor riset meliputi bahan bakar U-Mo dan U-Zr tipe dispersi^[1]. Selama melaksanakan litbang tersebut selalu didukung oleh kendali kualitas. Ada dua macam kegiatan yang dilakukan di kendali kualitas yaitu kegiatan rutin dan non rutin. Kegiatan rutin merupakan kegiatan pengujian bahan bakar nuklir atau bahan struktur yang dilakukan untuk mendukung litbang BFBBN. Kegiatan rutin ini meliputi pengujian serbuk UO_2 seperti: kadar uranium, kandungan unsur-unsur pengotor, rasio O/U, kadar air, *bulk*

density dan *tap density* dan *true density* juga pengujian pelet UO_2 sinter antara lain: rasio O/U, kandungan C (karbon), (hidrogen) dan N (nitrogen), dimensi, kekasaran dan densitas. Batas keberterimaan hasil pengujian mengacu pada dokumen dari ANSALDO^[3]. Kegiatan rutin selain pengujian juga perawatan peralatan yang digunakan untuk pengujian.

Pelaksanaan kegiatan pengujian bahan bakar nuklir bertujuan untuk mengetahui bahwa hasil pengujian bahan bakar nuklir telah memenuhi atau belum memenuhi batas keberterimaan sebagai bahan bakar berderajat nuklir/*nuclear grade*. Oleh karena itu kegiatan kendali kualitas dalam bahan bakar nuklir sangat diperlukan. Tujuan perawatan peralatan agar alat yang digunakan selalu bersih dan siap untuk melakukan pengujian apabila mengalami kerusakan dapat segera diketahui dan ditindak lanjuti. Kegiatan non rutin merupakan kegiatan yang tidak setiap tahun dilakukan, seperti kegiatan selingkung/coaching yang berhubungan dengan peningkatan kompetensi sumber daya manusia (SDM) di bidang kendali kualitas dan 5R.

Dalam kegiatan kendali kualitas selain tersebut diatas juga melakukan pengembangan metode analisis. Pada pengembangan metode ini yang dilakukan terlebih dahulu metode untuk analisis unsur-unsur logam menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA/AAS), hal ini dikarenakan metode yang akan dilakukan dapat meminimalisasi volume limbah radioaktif yang dihasilkan dalam preparasi sampel. Pengembangan tersebut terdapat pada preprasai untuk memisahkan uranium dalam bahan yang akan dianalisis. Pemisahan biasanya dengan proses ekstraksi menggunakan TBP-heksana tetapi dalam pengembangan ini menggunakan kolom berisi resin emberlite. Tujuan pengembangan metode analisis untuk mendapatkan metode pengujian unsur-unsur dalam larutan uranium menggunakan kolom berisi resin sebagai bahan untuk memisahkan uraniumnya dengan harapan mendapatkan hasil pengujian yang akurat dan mengurangi volume limbah radioaktif yang dihasilkan dari analisis ini.

METODOLOGI

Pelaksanaan kegiatan dilakukan di laboratorium kendali kualitas, BFBBN, berupa pengujian secara merusak dan tidak merusak. Kejadiannya mencakup: penyiapan bahan, pengoperasian alat untuk pengujian bahan bakar nuklir dan perawatan peralatan pengujian.

Bahan-bahan yang digunakan untuk adalah bahan bakar nuklir, asam nitrat, ferro sulfat, asam pospat, amonium sulfamat, ammonium hepta molybdat, kalium bikromat, vanasil sulfat, TBP, kerosin, hexan, resin, asam flourida, gas nitrogen, gas acetilen, gas nitrogen oksigen dan gas nitrogen, accelerator dan lecocel II.

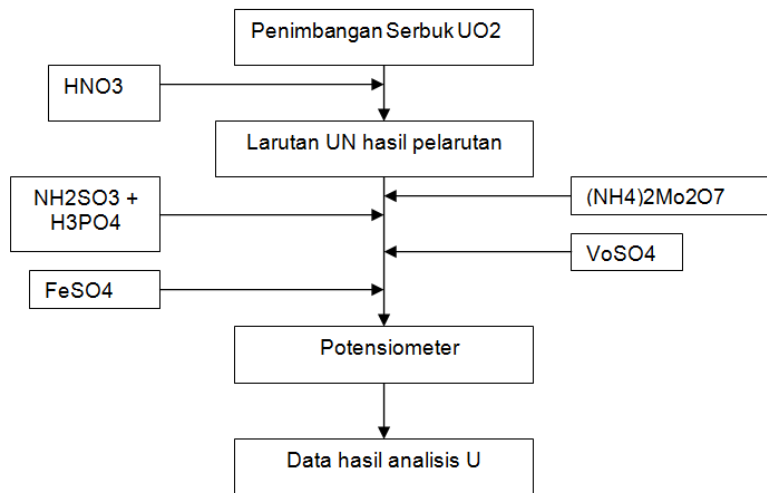
Peralatan yang digunakan: potensiometer, AAS, pH meter, alat analisis carbon,

autopycnometer, alat uji *tap density*, alat uji *bulk density*, *hot plate*, oven, tungku pemanas, kolom, peralatan gelas.

Tata Kerja :^[4,5,6,7]

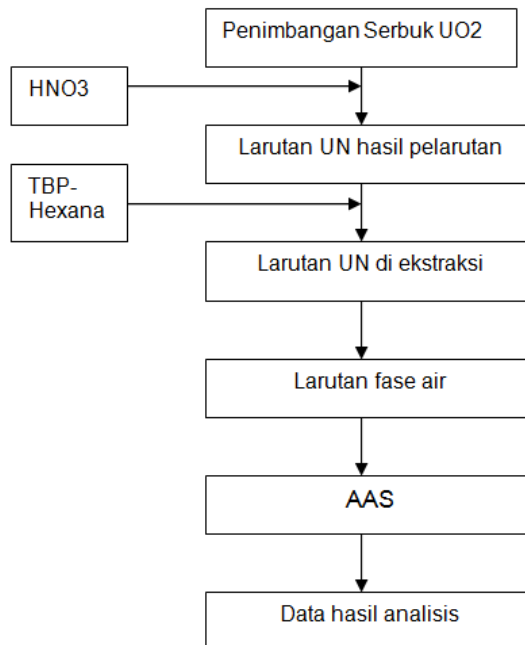
Kegiatan Uji Merusak

a. Pengujian kadar uranium menggunakan potensiometer.



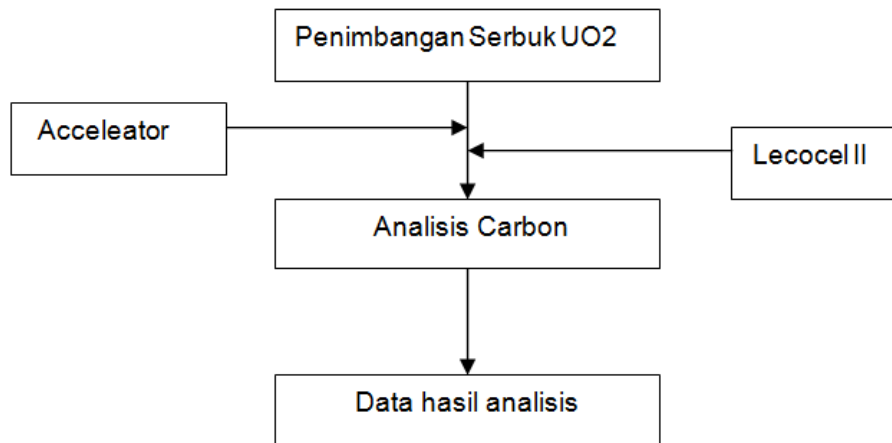
Gambar 1. Skema langkah kerja analisis uranium menggunakan potensiometer

b. Pengujian unsur pengotor menggunakan AAS



Gambar 2. Skema langkah kerja analisis unsur-unsur menggunakan AAS

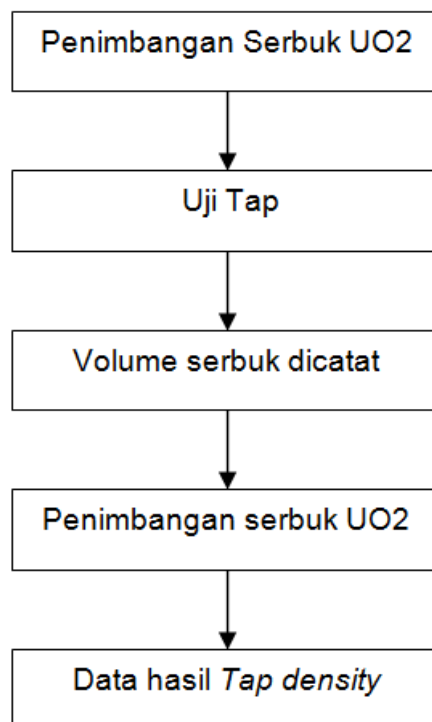
c. Pengujian Karbon



Gambar 3. Skema langkah kerja analisis karbon

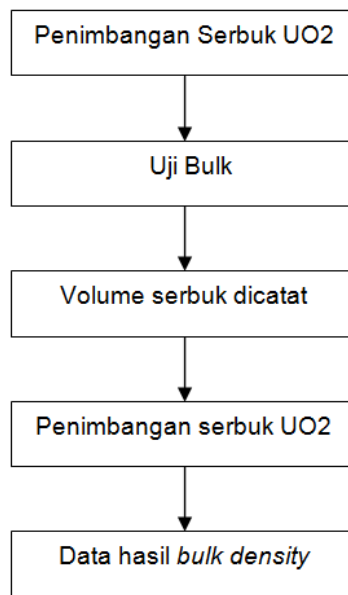
Kegiatan Uji Tidak Merusak

a. Pengujian *tap density*



Gambar 4. Skema langkah kerja pengujian *tap density*

b. Pengujian *bulk density*



Gambar 5. Skema langkah kerja pengujian *bulk density*

Perawatan Peralatan

Perawatan peralatan kendali kualitas dilakukan secara rutin sesuai dengan jadwal perawatan dan standar operasional prosedur (SOP) yang telah ditetapkan untuk masing-masing alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Merusak dan Tidak Merusak

A. Analisis Merusak

Pengujian merusak dalam bahan bakar nuklir antara lain; pengujian kadar uranium, unsur-unsur pengotor, karbon dan rasio O/U, sedangkan pengujian secara tidak merusak seperti *tap density*, *bulk density*, *true density*. Semua batas keberterimaan untuk hasil pengujian mengacu pada dokumen dari ANSALDO. Hasil pengujian merusak dan tidak merusak yang telah dilakukan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kendali kualitas secara merusak dan tidak merusak

| No | Kegiatan | Alat yang digunakan | Hasil |
|----|--|---------------------|--|
| 1. | Pengujian kadar U dalam sampel UO ₂ diperkaya | Potensiometer | Kadar U dalam 4 sampel UO ₂ E (diperkaya): 1. UO ₂ E 2,015% : (86,4662 ± 0,8263)% |

| | | | |
|----|--|--------------------------|---|
| | | | 2. UO ₂ E 2,992% : (85,5409 ± 0,6118)% 3. UO ₂ E 3,980% : (84,8366 ± 0,1969)% 4. UO ₂ E 4,953% : (84,7572 ± 0,7026)% |
| 2. | Pengujian karbon dalam sampel UO ₂ diperkaya | <i>Carbon analyzer</i> | Kadar Karbon dalam 4 sampel E (diperkaya): 1. UO ₂ E 2,015% : (177,3333 ± 7,7005)% 2. UO ₂ E 2,992% : (346,8127 ± 7,4243) % 3. UO ₂ E 3,980% : (158,3436 ± 3,7891)% 4. UO ₂ E 4,953% : (222,9899 ± 3,4059)% |
| 3. | Pengujian <i>Tap density</i> UO ₂ Diperkaya | <i>Tap densitymeter</i> | <i>Tap density</i> dalam 4 sampel E (diperkaya): 1. UO ₂ 2,0150% : (2,7169 ± 0,0169) g/mL 2. UO ₂ 2,992% : (2,7319 ± 0,0787) g/mL 3. UO ₂ 3,98 % : (2,9659 ± 0,0268) g/mL 4. UO ₂ 4,953% : (2,9659 ± 0,0530) g/mL |
| 4. | Pengujian <i>Bulk density</i> UO ₂ Diperkaya | <i>Bulk densitymeter</i> | <i>Bulk density</i> dalam 4 sampel UO ₂ E (diperkaya): 1. UO ₂ 2,0150% : (2,0614 ± 0,0133) g/mL 2. UO ₂ 2,992% : (1,7415 ± 0,0866) g/mL 3. UO ₂ 3,98 % : (2,1882 ± 0,0204) g/mL 4. UO ₂ 4,953% : (1,0514 ± 0,0120) g/mL |
| 5. | Analisis kadar U dalam sampel PCP larutan V-504 dan V-404C | Potensiometer | Larutan : V-504 : 28,5167 g/L Larutan : V-404C: 28,4688 g/L |
| 6. | Analisis kadar U dalam limbah HR-24 | Potensiometer | Kadar U dalam 3 drum: Drum 1: 0,8665 g/L Drum 2: 0,6939 g/L Drum 3: 2,8901 g/L |
| 7. | Analisis kadar U dalam ADU | Potensiometer | Kadar U dalam ADU 71,6118% |
| 8. | Analisis kadar U dalam sampel V-1001 PCP | Potensiometer | Kadar U dalam sampel V-1001 PCP 0,0145 g/L |
| 9 | Pengujian <i>True density</i> UO ₂ diperkaya | Autopiknometer | <i>True density</i> dalam 4 sampel UO ₂ E (diperkaya): 1. UO ₂ 2,015% : (10,7435 ± 0,0086) g/cc 2. UO ₂ 2,992% : (10,0344 ± 0,0046) g/cc 3. UO ₂ 3,980% : (10,1543 ± 0,0067) g/cc 4. UO ₂ 4,953% : (10,0086 ± 0,0085) g/cc |
| 10 | Pengujian rasio O/U dalam serbuk UO ₂ diperkaya | Tungku | Rasio O/U dalam 4 sampel UO ₂ E (diperkaya): 1. O/U E 2,015% = 2,3444 ± 0,0103 2. O/U E 2,992% = 2,3528 ± 0,0258 3. O/U E 3,980% = 2,4702 ± 0,0048 4. O/U E 4,953% = 2,4864 ± 0,0122 |

Kegiatan kendali kualitas yang dilakukan antara lain pengujian secara merusak dan tidak merusak serbuk UO₂ diperkaya dengan pengkayaan ; 2,015%, 2,992%, 3,980% dan 4,953%. Dari Tabel 1. No.1 terlihat hasil pengujian kadar uranium dalam serbuk UO₂ pengkayaan 2,015%, diperoleh (86,4662±0,8263)%, hasil analisis ini paling besar dibanding dari pengkayaan lainnya, sedangkan hasil terkecil berada dalam pengkayaan 4,953% diperoleh (84,7572±0,7026)%. Batas kebeterrimaan kadar uranium dalam serbuk

UO₂ *nuclear grade* lebih besar dari 87%. Dengan demikian hasil pengujian kadar uranium dalam serbuk UO₂ yang dianalisis lebih rendah dari batas keberterimaannya.

Hasil pengujian kadar karbon dalam serbuk UO₂ diperkaya seperti pada Tabel 1. No. 2 terlihat bahwa kadar karbon tertinggi dalam serbuk UO₂ pengkayaan 2,992% : (0,0347 ± 0,0007)%, sedangkan terendah : (0,0158 % ± 0,0004)% dalam pengkayaan 3,980 %. Batas keberterimaan kadar karbon dalam bahan bakar nuklir *nuclear grade* < 0,010%, maka hasil pengujian kadar karbon semua serbuk UO₂ diperkaya yang dianalisis berada diatas batas keberterimaan. Unsur karbon ini merupakan salah satu unsur pengotor dalam uranium oksida. Unsur ini masih cukup besar dimungkinkan karena dalam proses pemurnian pada produksi serbuk uranium diperkaya belum bisa meminimalisasi unsur karbon yang ada didalam uranium oksida tersebut.

Pengujian unsur-unsur pengotor dalam serbuk UO₂ diperkaya (Tabel 2.) terlihat bahwa 17 unsur yang diuji ada 16 unsur dalam batas keberterimaan dan satu unsur Al hasil pengujian antara 70ppm hingga 77 ppm dan lebih besar dari batas keberterimaannya, batas keberterimaan unsur Al : 50 ppm.

Tabel 2. Hasil Pengujian Unsur-unsur pengotor dalam serbuk UO₂ diperkaya

| No. | Unsur | Hasil analisis unsur-unsur pengotor dalam Serbuk UO ₂ (µg/g) | | | | Spesifikasi dari ANSALDO |
|-----|-------|---|-------------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| | | Diperkaya 2,015 % | diperkaya 2,992 % | Diperkaya 3,980% | diperkaya 4,953 % | |
| 1 | Ag | < LOD (0,002) | < LOD (0,002) | < LOD (0,002) | < LOD (0,002) | 1 |
| 2 | Al | 71,379 ± 1,186 | 70,828 ± 1,368 | 74,817 ± 3,411 | 77,727 ± 4,728 | 50 |
| 3 | Ca | 24,213 ± 1,278 | 28,189 ± 0,477 | 23,379 ± 3,722 | 25,266 ± 1,836 | 50 |
| 4 | Cd | < LOD (0,0007) | < LOD (0,0007) | < LOD (0,0007) | < LOD (0,0007) | 50 |
| 5 | Cu | < LOD (0,04) | < LOD (0,04) | < LOD (0,04) | 0,299 ± 0,003 | 20 |
| 6 | Co | < LOD (0,007) | < LOD (0,007) | < LOD (0,007) | < LOD (0,007) | 75 |
| 7 | Cr* | 5,065 ± 0,354 | 8,792 ± 0,353 | 5,289 ± 0,422 | 10,130 ± 0,127 | 100 |
| 8 | Fe* | 57,482 ± 31,929 | 74,482 ± 4,015 | 50,977 ± 1,744 | 82,369 ± 3,949 | 100 |
| 9 | Mg | 3,427 ± 0,0174 | 4,319 ± 0,36 | 3,12 ± 0,007 | 3,08 ± 0,002 | 50 |
| 10 | Mn | 1,535 ± 0,06 | 2,056 ± 0,069 | 1,610 ± 0,069 | 2,248 ± 0,075 | 10 |
| 11 | Mo | < LOD (0,03) | < LOD (0,03) | < LOD (0,03) | < LOD (0,03) | 50 |

| | | | | | | |
|----|----|---------------|----------------|---------------|----------------|-----|
| 12 | Ni | 1,007 ± 0,035 | 3,185 ± 0,0013 | 1,195 ± 0,065 | 4,856 ± 0,0808 | 150 |
| 13 | Pb | < LOD (0,11) | < LOD (0,11) | < LOD (0,11) | < LOD (0,11) | 60 |
| 14 | Si | < LOD (0,2) | < LOD (0,2) | < LOD (0,2) | < LOD (0,2) | 60 |
| 15 | Sn | < LOD (0,031) | < LOD (0,031) | < LOD (0,031) | < LOD (0,031) | 50 |
| 16 | Zn | 2,599 ± 0,053 | 3,029 ± 0,051 | 5,321 ± 0,178 | 4,693 ± 0,239 | 100 |
| 17 | V | < LOD (0,05) | < LOD (0,05) | < LOD (0,05) | < LOD (0,05) | 5 |

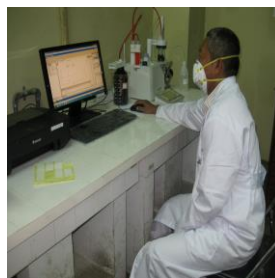
Dari hasil analisis secara merusak untuk ke 3 analisis (kadar U, AAS dan karbon) dalam serbuk analisis uranium dioksida, Hasil pengujian *tap density* serbuk UO_2 diperkaya antara 2,7169 g/mL hingga 2,9659 g/mL (Tabel 1. No.3). Batas keberterimaan untuk serbuk UO_2 minimal 2,0 g/mL, dengan demikian hasil pengujian ini memenuhi batas keberterimaan.

Pengujian *bulk density* serbuk UO_2 diperkaya diperoleh hasil seperti Tabel 1. No.4. Hasil *bulk density* tertinggi adalah serbuk UO_2 pengkayaan 3,980% : (2,1882 ± 0,0204) g/mL dan terendah pengkayaan 4,953% : (1,0514 ± 0,0120) g/mL. Batas keberterimaan untuk *bulk density* adalah (1,5 ± 0,2) g/ml. Dengan demikian hasil pengujian *bulk density* serbuk UO_2 diperkaya yang masuk batas keberterimaan adalah serbuk UO_2 pengayaan 2,992 %.

Dalam karakterisasi serbuk uranium antara kadar uranium dengan kadar unsur-unsur pengotor saling terkait. Semakin besar pengotor maka kadar uranium akan semakin kecil. Hal ini terlihat bahwa dalam analisis unsur-unsur pengotor terdapat unsur Al yang melebihi spesifikasi dengan kadar yang cukup besar demikian juga unsur karbon hasil analisisnya lebih besa dari spesifikasi dalam serbuk uranium dioksida. Hal ini salah satu penyebab hasil analisis kadar uranium lebih kecil dari spesifikasinya.



(1a)



(1b)



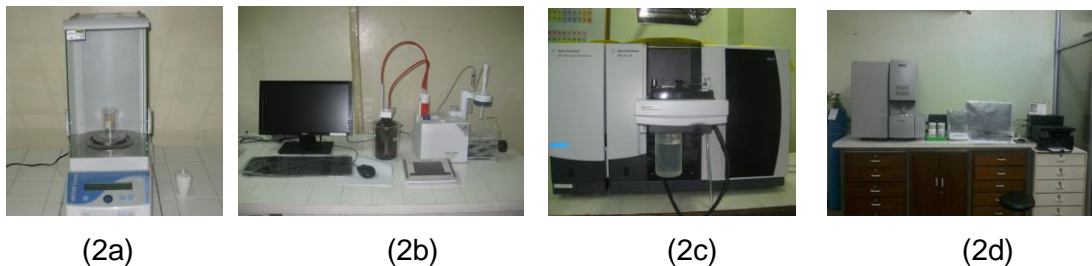
(1c)

Gambar 1. Melakukan kegiatan kendali kualitas

- (1a) Kegiatan pengujian unsur-unsur menggunakan AAS
- (1b) Kegiatan pengujian kadar uranium
- (1c) Kegiatan pengujian *tap density*

Perawatan Peralatan kendali Kualitas

Kegiatan perawatan peralatan merupakan kegiatan rutin dan dilakukan sesuai jadwal dan SOP masing-masing alat. Perawatan secara rutin bertujuan agar dapat mengetahui kondisi alat dan apabila terjadi kerusakan dapat segera diketahui dan ditindak lanjuti sehingga kegiatan kendali kualitas dapat berjalan lancar. Dari hasil perawatan dinyatakan bahwa semua peralatan yang digunakan selama kegiatan berfungsi dan tidak ada yang mengalami kerusakan.



Gambar 2. Peralatan untuk pengujian di laboratorium kendali kualitas BFBBN

- a. Necaca Analitik
- b. Potensimeter
- c. Spektrofotometer Serapan Atom
- d. Alat analisis karbon

2. Kegiatan Non Rutin

Kegiatan non rutin yang dilakukan adalah pengembangan metode analisis dan pengujian bahan dalam rangka mendukung kegiatan laboratorium uji bahan (LUB) serta 5R.

Dalam pengembangan metode analisis dilakukan pengujian unsur-unsur dalam lautan uranium menggunakan AAS. Pengembangan difokuskan pada pemisahan uranium, karena memisahkan uranium pada pengujian unsur-unsur dapat meningkatkan limit deteksi dan meminimalisir interferensi sinyal oleh uranium serta mencegah kontaminasi uranium pada alat. Proses pemisahan uranium dalam pengujian unsur-unsur menggunakan AAS yang biasa dilakukan di laboratorium kendali kualitas menggunakan metode ekstraksi pelarut-pelarut yaitu TBP–heksana, namun dari hasil pengujian menunjukkan terdapat penambahan/penurunan konsentrasi beberapa unsur saat proses ekstraksi. Sehingga

perlu dicari metode lain yang dapat meminimalisir kontaminasi. Merujuk pada ASTM C 1647 -13, tentang penghilangan uranium untuk analisis pengotor pada material uranium menggunakan AAS dan metode yang digunakan adalah ekstraksi menggunakan kolom kromatografi dengan resin diamyl amyolphosphonate dan polymethacrylate. Karena bahan resin tersebut tidak tersedia di laboratorium kendali kualitas maka dicari alternatif resin lain yaitu amberlite ekstraktan dengan metode penukar kation. Hasil pengujian unsur-unsur dalam larutan uranium dengan menggunakan kolom resin untuk memisahkan uraniumnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil pengujian unsur-unsur pengotor dengan proses pemisahan uraniumnya menggunakan resin ambrelite

| No. | Unsur | Hasil analisis ($\mu\text{g/g}$) | Sertifikat NBL 13-031 Customer PO : 02/DU/EP/II/2013 |
|-----|-------|------------------------------------|--|
| | | Standar CRM 124-1 | |
| 1 | Al | 165,1847 \pm 2,2 | 205 \pm 37 |
| 2 | Be | 18,0633 \pm 0,186 | 25 \pm 7,3 |
| 3 | Ca | 180,6411 \pm 1,7112 | 200 \pm 36 |
| 4 | Cd | Ttd < LD 0,001 | 5,2 \pm 0,88 |
| 5 | Co | Ttd (<LD = 0,002) | 25 \pm 6,1 |
| 6 | Cr | 93,6712 \pm 1,6194 | 102 \pm 14 |
| 7 | Cu | Ttd < 0,0002 | 50 \pm 9,4 |
| 8 | Fe | 6,6313 \pm 0,6571 | 210 \pm 24 |
| 9 | Mg | 75,2015 \pm 1,4479 | 101 \pm 13 |
| 10 | Mn | 33,8824 \pm 1,0839 | 51 \pm 7,6 |
| 11 | Ni | 200,646 \pm 2,3974 | 202 \pm 17 |
| 12 | Pb | 20,5737 \pm 0,5559 | 51 \pm 15 |
| 13 | Si | 174,005 \pm 13,000 | 202 \pm 58 |
| 14 | Ti | Ttd < LD 0,0004 | 50 \pm 14 |
| 15 | Zn | Ttd < LD 0,0004 | 202 \pm 57 |

Pada Tabel 3. terlihat bahwa hasil pengujian unsur-unsur dengan menggunakan resin amberlite yang berada dalam kisaran keberterimaan hanya ada 4 unsur dari 15 unsur yang diuji sehingga perlu dicari lagi metode yang tepat untuk pengujian tersebut.

Pengujian untuk mendukung LUB dilakukan kegiatan pengujian secara merusak maupun tidak merusak. Hasil pengujian tersebut seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kegiatan pengujian kendali kualitas untuk mendukung LUB

| No. | Kegiatan | Alat yang digunakan | Hasil |
|-----|--|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Pengukuran kekasaran SS 105-109/34/A/2017 | Roughness tester Surtronic-25 | 0,041-0,072 μm |
| 2 | Pengukuran bulk density Castable 111/36/A/B/2017 | Bulk Densitymeter | 0,7114 g/ml |
| 3 | Pengujian kebocoran Kapsul FPM dari PT. INUKI | Helium Leak Detektor | Data Terdokumentasi di BFBBN |
| 4 | Analisis unsur Al, Ca, Ba, Ti, Ta, W, Sm, Cu, Zn, Cd, Cr, Co, Mn, Li, Mg, dalam U ₃ Si ₂ dan Al MgSi | AAS | Data Terdokumentasi di BFBBN |
| 5 | Analisis karbon dalam Sampel LUB | Carbon analyzer | 0,0629 dan 0,0963% |

KESIMPULAN

Kegiatan kendali kualitas secara merusak dan tidak merusak dalam mendukung litbang di BFBBN, PTBBN berjalan lancar dan tidak ada kendala. Batas keberterimaan hasil pengujian serbuk UO₂ diperkaya mengacu pada dokumen dari ANSALDO.

Hasil pengujian kadar uranium dalam serbuk UO₂ diperkaya lebih rendah dari batas keberterimaannya dan semua hasil pengujian unsur-unsur pengotor dalam serbuk UO₂ diperkaya berada dalam batas keberterimaan kecuali unsur Al lebih tinggi dari batas keberterimaan. Hasil pengujian kadar karbon dalam serbuk UO₂ diperkaya masuk dalam batas keberterimaan.

Hasil pengujian *Bulk density* dalam batas keberterimaan adalah serbuk UO₂ pengkayaan 2,992% selanjutnya hasil pengujian *tap density* serbuk UO₂ diperkaya dalam batas keberterimaan.

Kegiatan pengembangan metode difokuskan pada preparasi untuk memisahkan unsur-unsur dari uranium. Dalam hal ini hanya diperoleh 4 unsur dari 15 unsur yang diuji sehingga perlu dicari lagi metode yang tepat untuk pengujian tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala BFBBN yang memberi semangat dalam melakukan kegiatan dan juga kepada seluruh teman-teman kendali kualitas serta seluruh staf BFBBN atas kerjasamanya dalam melakukan kegiatan dalam mendukung litbang fabrikasi elemen bakar nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bambang H., "Proses Produksi Bahan Bakar Nuklir di IEBE-BATAN", [http/www:Google/Bahan Bakar Nuklir](http://www:Google/Bahan%20Bakar%20Nuklir), 2013.
2. Torowati, dkk, "Pelaksanaan kegiatan kendali kualitas bahan bakar nuklir di BidangFabrikasi Bahan Bakar Nuklir" Prosiding hasil-hasil penelitian PTBBN, 2015.
3. ANSALDO, "Dokumen ANSALDO No. IND-700-00-Q-0498 Rev.0".
4. ASTM C1267-11 "*Standard Test Method For Uranium by iron (II) Reduction in Phosphoric Acid Followed by Chromium (VI) Titration in the Presence of Vanadium*", 2011.
5. ASTM C 1453-00, "*Standard test for The Determination of Uranium by Ignition and The Oxygen to Nuclear (O/U) Atomic ratio of Nuclear Grade Uranium Powders and Pellets*", 2000.
6. ASTM C1022-05, "*Standard Test Methode For Chemical Adan Atomic For Absorption Analysis of Uranium-Ore Concentrate*, 2005.
7. ASTM C 1647 -13, "*Standard Practice for Removal of Uranium or Plutonium, or both, for Impurity Assay in Uranium or Plutonium Materials*, 2013