

PELAKSANAAN KEGIATAN KENDALI KUALITAS BAHAN BAKAR NUKLIR DI BIDANG FABRIKASI BAHAN BAKAR NUKLIR

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

ABSTRAK

Kegiatan kendali kualitas bahan bakar telah dilakukan di Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir (BFBBN). Kegiatan ini merupakan pendukung dalam penelitian dan pengembangan (litbang) fabrikasi elemen bakar nuklir baik untuk reaktor daya maupun riset serta dilakukan secara rutin dan non rutin. Kegiatan rutin merupakan pengoperasian peralatan untuk melakukan pengujian/karakterisasi bahan bakar nuklir dan komponennya serta perawatan peralatan. Tujuan pelaksanaan kegiatan kendali kualitas adalah untuk melakukan karakterisasi/analisis dalam rangka mendukung litbang fabrikasi elemen bakar nuklir. Kegiatan non rutin merupakan kegiatan yang tidak selalu dilakukan setiap tahun seperti mengadakan *coaching* dalam rangka meningkatkan kompetensi personil kendali kualitas. Perawatan peralatan dilakukan secara rutin bertujuan untuk merawat peralatan yang digunakan untuk pengujian, sehingga dapat mengetahui secara cepat apabila alat tidak dapat difungsikan. Hasil pengujian kadar uranium, karbon, *tap density*, *bulk density* dalam bahan bakar nuklir dan densitas B4C serta kadar unsur dalam zirkaloy bentuk tube telah memenuhi spesifikasi. Kandungan unsur pengotor Ca, Cd, Mn dan Si dalam serbuk UO_2 sinter, unsur Ca dan Cr dalam pelet + dopan Cr_2O_3 0,4% serta komponen zirkaloy bentuk *rod* belum memenuhi spesifikasi. Perawatan peralatan dilakukan secara rutin dan tidak ditemukan peralatan yang rusak selama kegiatan berlangsung. Kegiatan non rutin telah melakukan pengujian bahan dan mengadakan *coaching* tentang pengujian secara merusak terhadap bahan bakar nuklir.

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

PENDAHULUAN

Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir (BFBBN) merupakan salah satu bidang yang berada di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN)–BATAN. Tugas pokok dan fungsi (tupoksi) BFBBN adalah melaksanakan penelitian dan pengembangan (litbang) fabrikasi elemen bakar nuklir baik untuk reaktor daya maupun riset. Kegiatan litbang untuk reaktor daya meliputi:^[1]

1. Konversi *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 *nuclear grade* dapat sinter.
2. Fabrikasi elemen bakar nuklir berbasis pelet UO_2 sinter

Kegiatan Litbang untuk reaktor riset meliputi litbang bahan bakar maju U-Mo dan U-Zr tipe dispersi.

Ada dua kegiatan yang dilakukan di laboratorium kendali kualitas yaitu rutin dan non rutin. Kegiatan rutin ada dua macam yaitu melakukan pengujian/karakterisasi bahan bakar nuklir dan perawatan peralatan uji. Pengujian kendali kualitas berhubungan dengan mutu, karena untuk mengetahui kandungan dan kualitas bahan yang diuji. Tujuan pengujian untuk mengetahui bahwa hasil uji bahan bakar nuklir telah memenuhi atau belum memenuhi spesifikasi sebagai bahan bakar berderajat nuklir/*nuclear grade*. Oleh

karena itu kegiatan kendali kualitas dalam rangka pengujian bahan bakar nuklir sangat diperlukan. Selain kegiatan rutin berupa pengujian, dilakukan juga kegiatan perawatan peralatan. Tujuan perawatan peralatan untuk merawat semua alat yang digunakan dalam pengujian agar kondisi selalu bersih, terkontrol dan siap digunakan apabila mengalami kerusakan dapat segera diketahui dan ditindak lanjuti. Perawatan dilakukan secara rutin bulanan dan dua bulanan. Kegiatan non rutin yang dilakukan di kendali kualitas merupakan kegiatan yang tidak setiap saat atau setiap tahun dilakukan. Salah satu contoh dari kegiatan tersebut seperti melaksanakan *coaching* dalam rangka meningkatkan kompetensi setiap personil untuk melakukan pengujian.

KENDALI KUALITAS

Kendali kualitas merupakan kegiatan pengujian/karakterisasi dalam rangka mendukung litbang fabrikasi elemen bakar nuklir. Pengujian ini dilakukan terhadap hasil proses konversi *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 dan bahan komponen untuk fabrikasi elemen bakar nuklir seperti kelongsong, tutup atas dan tutup bawah.

Pengujian yang dilakukan kendali kualitas ada dua cara yaitu:^[1,2]

1. Pengujian merusak (*Destructive test*), merupakan pengujian yang dilakukan dengan merusak bahan yang diuji;
2. Pengujian tidak merusak (*Non destructive test*) merupakan pengujian tanpa merusak dari bahan yang diuji.

Pengujian dalam proses fabrikasi elemen bakar nuklir meliputi:

1. Pengujian terhadap serbuk UO_2 antara lain: kandungan unsur-unsur pengotor, kadar uranium, rasio O/U, kadar air, *bulk density*, *tap density* dan *true density*;
2. Pengujian pelet UO_2 sinter antara lain: rasio O/U, kandungan C (karbon), H (hidrogen) dan N (nitrogen), struktur mikro meliputi distribusi ukuran partikel, distribusi ukuran pori, dimensi, kekasaran dan densitas;
3. Pengujian bahan komponen seperti kelongsong tutup atas dan bawah;
4. Pengujian pin dan perakitan bundel elemen bakar nuklir meliputi: *visual*, kebocoran dan dimensi.

METODOLOGI

Pelaksanaan kegiatan di laboratorium kendali kualitas berupa pengujian baik secara merusak dan tidak merusak. Kegiatan tersebut mencakup: penyiapan bahan, pengoperasian alat untuk melakukan pengujian dan perawatan peralatan. Selanjutnya dilakukan pula perawatan peralatan dan kegiatan non rutin berupa penyelenggaraan pelatihan. Bahan-bahan yang digunakan untuk kegiatan di laboratorium kendali kualitas

adalah: bahan bakar nuklir, komponen zirkaloy untuk pembuatan pin, asam nitrat, ferro sulfat, asam pospat, amonium sulfamat, ammonium hepta molybdat, kalium bikromat, vanasil sulfat, TBP, kerosin, hexan, asam flourida, gas nitrogen, gas acetilen, gas nitrogen oksigen dan gas nitrogen, accelerator dan lecocel II. Peralatan yang digunakan: potensiometer, AAS, pH meter, analisis carbon-sulfur, ONH, *autopycnometer*, alat analisis *tap density*, alat analisis *bulk density*, *hot plate*, oven, tungku pemanas.

Tata Kerja :^[3,4,5]

1. Kegiatan Uji Merusak

- a. Pengujian/analisis kandungan uranium menggunakan potensiometer.

Ditimbang bahan yang akan dianalisis kemudian dilarutkan dengan asam nitrat hingga larut sempurna. Larutan dimasukkan kedalam labu ukur dan volume ditepatkan hingga tanda batas menggunakan air bebas mineral. Selanjutnya larutan diambil 1 mL ditambah asam sulfamat dan asam fosfat, diaduk hingga warna larutan putih susu, setelah itu ditambah ferro sulfat serta amonium heptamolybdat dan diaduk sampai larutan semula berwarna coklat menjadi jernih. Tambah larutan dengan vanadil sulfat selanjutnya dititrasi dengan larutan kalium bikromat menggunakan potensiometer.

- b. Analisis unsur pengotor menggunakan AAS

Bahan ditimbang kemudian dilarutkan menggunakan campuran asam nitrat hingga larut. Hasil pelarutan dimasukkan kedalam labu ukur dan ditepatkan hingga volume tertentu menggunakan asam nitrat 3 M. Selanjutnya larutan diekstraksi menggunakan campuran TBP:kerosin. Larutan fase air dipisahkan dan dianalisis menggunakan AAS

- c. Analisis Karbon

Bahan yang akan dianalisis dimasukkan kedalam krusibel keramik dan ditimbang, tambahkan accelerator dan Lecocel II masing-masing 1 sendok katalis kemudian tutup krusibel tersebut. Data berat sampel yang akan dianalisis dituliskan kedalam alat analisis carbon yang telah siap untuk melakukan analisis. Kemudian letakkan krusibel diatas dudukan pedestal pada alat dan masukkan kedalam ruang pembakaran dengan cara klik *Analyzer* pada alat, maka secara otomatis akan memulai analisis.

2. Kegiatan Uji Tidak Merusak

- a. Pengujian *tap density*

Ditimbang serbuk yang akan di uji kemudian dimasukkan dalam gelas ukur, selanjutnya dilakukan uji tap menggunakan alat *tap density* sesuai dengan SOP. Serbuk setelah di uji ditimbang dan batas volume pada gelas ukur diamati. Hasil

tap density ditentukan dengan menghitung perbandingan berat terhadap volume bahan tersebut.

b. Pengujian *bulk density*

Ditimbang bahan yang akan diuji selanjutnya dilakukan uji menggunakan alat curah, bahan hasil curah ditampung dalam gelas ukur. Kemudian ditimbang dan volume bahan dalam gelas ukur ditentukan. Hasil *bulk density* ditentukan dengan menghitung perbandingan berat terhadap volume bahan tersebut.

c. Pengujian densitas secara metrologi

Bahan padat dengan bentuk beraturan seperti Pelet/B₄C dilakukan pengukuran dimensi berupa diameter dan panjang kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitis. Hasil densitas dapat ditentukan dengan menghitung perbandingan berat terhadap volume bahan yang diukur.

3. 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

Dalam mendukung tupoksi BFBBN, kegiatan kendali kualitas BFBBN telah melakukan pengujian baik secara merusak maupun tidak merusak. Pengujian secara merusak yang telah dilakukan antara lain; analisis kandungan uranium, unsur pengotor dan karbon dalam bahan bakar nuklir serta penentuan dimensi B₄C dan analisis kandungan unsur dalam komponen yang digunakan untuk fabrikasi elemen bahan bakar nuklir.

Pengujian Secara Merusak

Pengujian secara merusak yang telah dilakukan adalah analisis kandungan uranium, unsur pengotor dan karbon. Hasil analisis tersebut seperti pada Tabel 1, 2, 3 dan 4.

Tabel 1. Hasil analisis bahan bakar nuklir secara merusak

No	Kegiatan	Hasil Analisis	Keterangan
1	Analisis Uranium dalam pelet UO ₂ dengan dopan Cr ₂ O ₃ 0,4%	(87,94±0,23)%	
2	Analisis carbon dalam zirkaloy 4 <i>tube</i>	(0,0243±0,0023)%	
3	Analisis carbon dalam zirkaloy 4 <i>rod</i>	(0,0531±0,0025)%	
4	Analisis carbon dalam pelet UO ₂ sinter	(0,0109±0,0017)%	

No	Kegiatan	Hasil Analisis	Keterangan
5	Analisis U dalam serbuk UZr 55%	(41,7153±1,0722)%	
6	Analisis U dalam serbuk UZr 45%	(50,2693±1,0722)%	
7	Analisis U dalam ingot UZr 45%	(52,9368±1,0722)%	
8	Analisis kadar uranium dalam <i>yellow cake</i> Cogema	(76,2300±0,5900) ppm	
9	Analisis asam bebas dalam larutan uranil nitrat hasil proses PCP	0,0206 M	
10	Analisis Uranium Untuk Validasi Metode/Pengembangan Metode Baru ASTM 1267-11	Kadar U = (84,36±0,12) % RSD = 0,14 %. CV _{Horwitz} = 2,05% 2/3 CV _{Horwitz} = 1,37%.	
11	Analisis unsur-unsur dalam paduan Aluminium	Al : 99168 ppm (9,92%) Fe : 444,6889 ppm Mg: 45,5545 ppm Si : 2573,039 ppm (0,26%)	
12	Analisis carbon dalam serbuk anorganik	sampel I : (97,2 ±0,404)% sampel II : (97,3 ±0,854)%	Non rutin
13	Analisis U dalam ilemit	162,644 mg/L	Non rutin
14	Analisis sulfur dalam petroleum	1. (2,65±1,73)% 2. (3,66±0,096)% 3. (3,67±0,097)%	Non rutin

Pelet UO_2 ditambah dopan berupa Cr_2O_3 0,4% sinter merupakan salah satu litbang untuk pengembangan pelet bahan bakar nuklir. Pada Tabel 1. terlihat bahwa hasil analisis kandungan uranium dalam pelet UO_2 + dopan Cr_2O_3 0,4% diperoleh sebesar 87,94% dengan standar deviasi 0,23%. Spesifikasi kandungan uranium dalam pelet UO_2 berderajat nuklir > 87 %. Hasil analisis karbon dalam pelet UO_2 + dopan Cr_2O_3 0,4% diperoleh : (0,0109 ± 0,0017)%, sedangkan spesifikasi kandungan karbon dalam bahan bakar berderajat nuklir < 0,010%.

Pada analisis unsur pengotor dalam pelet sinter UO_2 + dopan Cr_2O_3 0,4% (Tabel 2.) terlihat bahwa hasil dua unsur pengotor yaitu Ca dan Cr melebihi spesifikasi. Dari hasil analisis kandungan uranium dan karbon dalam pelet UO_2 + dopan Cr_2O_3 0,4% telah memenuhi spesifikasi tetapi hasil analisis unsur pengotor belum memenuhi spesifikasi. Hal ini dimungkinkan pada saat pembuatan pelet, penambahan dopan unsur Cr dalam serbuk UO_2 melebihi dari spesifikasi. Dengan demikian perlu dilakukan evaluasi saat penambahan unsur Cr dalam serbuk UO_2 .

Tabel 2. Data hasil analisis pelet sinter UO_2 + dopan Cr_2O_3 0,4%

No.	Unsur	Spesifikasi (ppm)	Hasil analisis (ppm)	No.	Unsur	Spesifikasi (ppm)	Hasil analisis (ppm)
1	Ag	1,0	0,1733	9	Mg	50,0	13,6363
2	Al	50,0	40,9085	10	Mn	10,0	1,8145
3	Ca	50,0	77,9894	11	Si	60	21,1547
4	Cd	0,2	0,0373	12	Mo	50,0	Ttd < LD(0,030)
5	Cu	20,0	1,7770	13	V	5,0	< LD (0,05)
6	Co	75,0	0,2229	14	Pb	60,0	0,8688
7	Cr*	100,0	875,5160	15	Sn	50,0	5,8194
8	Fe*	100,0	12,8262	16	Zn	100,0	8,1595

Hasil analisis karbon (C) dalam komponen zirkaloy 4 bentuk *tube* dan *rod* masing-masing adalah $(0,0243 \pm 0,0023)\%$ dan $(0,0531 \pm 0,0025)\%$. Spesifikasi karbon dalam komponen zirkaloy 4 berderajat nuklir < 0,027%. Dengan demikian komponen zirkaloy bentuk *tube* memenuhi spesifikasi berderajat nuklir, sedangkan zirkaloy bentuk *rod* belum memenuhi spesifikasi.

Pada Tabel 3. terlihat bahwa hasil analisis unsur Ca, Cd, Mn dan Si dalam serbuk UO_2 sinter melebihi spesifikasi. Hal ini perlu dilakukan evaluasi karena sifat unsur tersebut akan mempengaruhi unjuk kerja elemen bakar nuklir didalam reaktor.

Tabel 3. Data hasil analisis unsur-unsur pengotor dalam serbuk UO_2 sinter

No.	Unsur	Spesifikasi (ppm)	Hasil analisis (ppm)	No.	Unsur	Spesifikasi (ppm)	Hasil analisis (ppm)
1	Al	50,0	270,8899	8	Fe*	100,0	91,2812
2	Ca	50,0	100,3574	9	Mg*	50,0	1,3777
3	Cd	0,2	0,3085	10	Mn	10,0	12,6925
4	Cu	20,0	1,5693	11	Ni*	30,0	15,5732
5	Co	75,0	1,5210	12	Si	60,0	352,7923
6	Cr*	100,0	18,1955	13	Mo	50,0	6,4043
7	Zn	100,0	14,1388				



Gambar 1. Kegiatan analisis unsur-unsur pengotor menggunakan AAS



Gambar 2. Kegiatan pengujian *tap density* Serbuk UO_2

Pengujian Secara Tidak Merusak

Pengujian secara tidak merusak yang telah dilakukan antara lain: menentukan *tap density*, *bulk density* terhadap serbuk UO_2 sinter dan densitas boron karbida (B_4C). Pada pengujian *tap density* dan *bulk density* (Tabel 4.) masing-masing diperoleh hasil 2,1696 g/cm^3 dan 1,2950 g/cm^3 , sedangkan nilai *tap density* dan *bulk density* dalam spesifikasi masing-masing $> 2.0 g/cm^3$ dan $1,5 \pm 0,2 g/cm^3$. Berdasarkan hasil analisis tersebut maka serbuk UO_2 sinter telah memenuhi spesifikasi.^[2]

Pada pengujian densitas B_4C secara metrologi diperoleh hasil: 2,489 g/cm^3 , sedangkan densitas B_4C dalam sertifikat 2,48 g/cm^3 . Dari hasil uji ini terdapat perbedaan dengan sertifikat sebesar: 0,009 g/cm^3 atau 0,36%. Karena perbedaan ini sangat kecil sehingga tidak signifikan.

Tabel 4. Data hasil pengujian secara tidak merusak

No	Kegiatan	Hasil Analisis	Keterangan
1	Uji <i>tap density</i> serbuk UO_2 sinter	2,1696 g/cm^3	
2	Uji <i>bulk density</i> serbuk UO_2 sinter	1,2950 g/cm^3	
3	Pengujian densitas B_4C	(2,489±0,0140) g/cm^3	

Perawatan Peralatan kendali Kualitas

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

Kegiatan non rutin

Kegiatan non rutin yang dilakukan adalah pengujian bahan dalam rangka mendukung kegiatan laboratorium uji bahan (LUB) dan mengadakan pelatihan kepada personil kendali kualitas. Pelatihan yang dilaksanakan berupa *coaching* tentang pengujian secara merusak terhadap bahan bakar nuklir. Kegiatan *coaching* dilaksanakan tgl 3 – 25 Maret 2015 dan diikuti 6 orang yang bertujuan meningkatkan kompetensi personil tentang pengujian secara merusak.



Gambar 3. Peserta *coaching* Pengujian merusak



Gambar 4. Proses belajar mengajar dalam *coaching*

KESIMPULAN

Hasil pengujian kadar uranium, karbon, *tap density*, *bulk density* dalam bahan bakar nuklir dan densitas B4C serta kadar unsur dalam zirkaloy bentuk *tube* telah memenuhi spesifikasi. Kandungan unsur pengotor Ca, Cd, Mn dan Si dalam serbuk UO_2 sinter, unsur Ca dan Cr dalam pelet + dopan Cr_2O_3 0,4% serta komponen zirkaloy bentuk *rod* belum memenuhi spesifikasi.

Perawatan peralatan dilakukan secara rutin dan tidak ditemukan peralatan yang rusak selama kegiatan berlangsung. Kegiatan non rutin telah melakukan pengujian bahan dan mengadakan *coaching* tentang pengujian secara merusak terhadap bahan bakar nuklir.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

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. ANONIM, "Dokumen ANSALDO No. IND-700-00-Q-0498 Rev.0".
3. 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.
4. 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.
5. ASTM C1022-05, "Standard Test Methods for Chemical and Atomic For Absorption Analysis of Uranium-Ore Concentrate", 2005.