

ANALISIS PENGARUH UKURAN BUTIR TERHADAP KUALITAS PELET MENGGUNAKAN KODE KOMPUTER

Tri Yulianto, Slamet Pribadi, Iwan Setiawan
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis pengaruh pelet UO_2 berbutir besar dengan menggunakan program kode komputer FEMAXI – V terhadap karakteristik mekanik dan termal paska iradiasi. Penambahan dopan dimaksudkan agar diperoleh pelet UO_2 dengan karakteristik yang lebih baik yang ditandai dengan pelet berbutir besar, densitas yang tinggi . Pada pelet UO_2 sinter berbutir besar, jalur difusi bebas merata akan meningkat dan akan menurunkan laju pelepasan gas hasil fisi sehingga derajat bakarnya dapat ditingkatkan . Fabrikasi pelet UO_2 berbutir besar dilakukan dengan menambahkan sejumlah dopan Cr_2O_3 , MgO atau V_2O_5 pada pengompakan pelet UO_2 dan disinter pada temperatur $1700^{\circ}C$ selama 4 jam dalam suasana gas hidrogen. Kegiatan sebelumnya telah diperoleh bahwa dopan keramik Cr_2O_3 paling efektif mempengaruhi proses sinter untuk memperoleh pelet UO_2 berbutir besar sebagai bahan bakar PWR berderajat bakar tinggi. Analisis pengaruh pelet UO_2 berbutir besar dengan menggunakan program komputer FEMAXI–V terhadap hasil penelitian pada variasi penambahan dopan Cr_2O_3 , teridentifikasi bahwa karakteristik pelet UO_2 berbutir besar lebih baik sifat termal dan analisis proses termal menunjukkan bahwa pelepasan produk gas fisi mengalami penurunan mulai dari ukuran butir $9,1 \mu m$ sampai dengan ukuran butir $15,5 \mu m$.

Kata kunci : pelet, UO_2 , densitas, butir besar

PENDAHULUAN

Bahan bakar uranium dioksida (UO_2) dalam bentuk pelet untuk reaktor tipe PWR terus dikembangkan dalam rangka meningkatkan kinerjanya melalui peningkatan derajat bakarnya (*burn up*). Sampai saat ini pelet UO_2 telah mampu dibakar hingga mencapai 110 MWd/kg pada eksperimen di reaktor uji dengan pengembangan pelet, kelongsong dan bahan struktur lainnya. Peningkatan derajat bakar pelet UO_2 akan menurunkan kebutuhan bahan bakar baru per energi yang dihasilkan ^[1].

Bahan bakar PWR berderajat bakar (*burn-up*) tinggi menuntut peningkatan kehandalan bahan bakar UO_2 . Salah satu upaya untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah dengan menambahkan sejumlah dopan pada pelet UO_2 . Dopan yang ditambahkan dapat berupa keramik atau logam yang semuanya ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas pelet UO_2 . Penambahan sejumlah dopan keramik di dalam pembuatan pelet UO_2 dapat menaikkan ukuran butir pada struktur mikro pelet sinter UO_2 sedangkan penambahan sejumlah dopan logam dapat menaikkan konduktivitas panas pelet sinter UO_2 ^[10].

Pada pelet UO_2 yang berbutir besar, ukuran butir akan meningkat sedangkan area batas butir turun, sehingga jalur difusi bebas merata meningkat dan laju pelepasan gas hasil fisi akan lebih rendah dibandingkan pelet UO_2 dengan ukuran butir yang lebih

kecil. Hal ini harus diimbangi dengan peningkatan ketahanan plastisitas pelet UO_2 untuk meningkatkan kemampuan retensi/ pengungkungan gas hasil fisi pada *burn-up* tinggi sedangkan kemampuan mencapai densitas yang dipersyaratkan oleh reaktor pengguna tetap dapat dipertahankan^[1,10].

Gas fisi adalah produk dari reaksi fisi uranium dioksida (UO_2) menghasilkan atom-atom yang bermassa lebih kecil, seperti: Ba, Kr, Zr, Te, Sr, Cs, I, La dan Xe dengan massa atom sekitar 95 dan 135. Diantara atom-atom tersebut banyak yang tidak stabil dan masih menghasilkan isotop lain hasil dari peluruhan. Diantara produk fisi yang paling berlimpah dan stabil adalah gas Xenon dan Krypton^[6]. Fenomena pelepasan produk gas fisi dari bahan bakar nuklir UO_2 ini diasumsikan melalui dua mekanisme yaitu difusi gas atom dalam butir dan pergerakan butir membentuk gelembung. Gelembung kemudian tumbuh dan menyatu membentuk aliran ke arah keluar dari pelet ke ruang bebas yaitu gap antara pelet dan kelongsong^[7]. Produk gas fisi (*Fission Gas Release*) ini merupakan gas yang berpotensi berpengaruh pada fenomena unjuk kerja *pin* bahan bakar karena dapat menimbulkan tekanan gas secara internal di dalam *pin* bahan bakar, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi integritas kelongsong dan pelet bahan bakar^[9,10].

Sejak terjadinya kecelakaan nuklir banyak permasalahan yang sangat kompleks, maka perlu adanya analisis unjuk kerja pelet UO_2 hasil fabrikasi terhadap sifat termal maupun mekanik sebelum diiradiasi di teras reaktor.

Pemahaman tentang mekanisme pembentukan gelembung sangat penting untuk mengontrol proses pertumbuhan produk gas fisi dan untuk mengoptimalkan proses iradiasi *pin* bahan bakar hasil fabrikasi pelet dengan variasi ukuran besar butir. Variasi besar butir telah dilakukan fabrikasi beberapa kali oleh peneliti sebelumnya^[1] dan disimpulkan bahwa dengan variasi penambahan dopan dapat memperbesar ukuran butir pelet UO_2 .

Pelet UO_2 berbutir besar dapat diperoleh melalui proses *annealing* pelet UO_2 dalam waktu yang cukup lama pada temperatur tinggi atau dengan penambahan dopan keramik pada pelet UO_2 dengan konsentrasi tertentu^[1]. Dopan yang dapat ditambahkan antara lain TiO_2 , Nb_2O_5 , Cr_2O_3 , CaO atau V_2O_5 ^[1]. Dari penelitian yang pernah dilakukan diperoleh pelet UO_2 berbutir besar dengan penambahan dopan Cr_2O_3 dan diharapkan dapat memenuhi persyaratan reaktor pengguna dalam rangka peningkatan kehandalan bahan bakar UO_2 sebagai bahan bakar PWR berderajat bakar (*burn-up*) tinggi. Tujuan penambahan dopan dalam proses penyinteran adalah untuk meningkatkan laju densifikasi dan laju pertumbuhan butir dan kehadiran dopan keramik dengan diameter dan valensi tertentu akan mengubah jarak antara atom dan konsentrasi cacat titik lokal dalam kisi UO_2

sehingga akan mengubah koefisien difusi atom dan laju penyinteran secara keseluruhan^[1,10].

Dalam analisis dampak penambahan dopan terhadap karakteristik pelet UO_2 sinter dalam rangka peningkatan ukuran butir menjadi lebih besar, pengaruh ukuran butir bila bahan bakar UO_2 teriradiasi terhadap unjuk kerja *pin* bahan bakar uji hasil fabrikasi dapat dihitung atau diprediksi dengan menggunakan program komputer. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh penambahan dopan untuk memprediksi unjuk kerja pelet selama diiradiasi dengan metoda kode komputer FEMAXI-V.

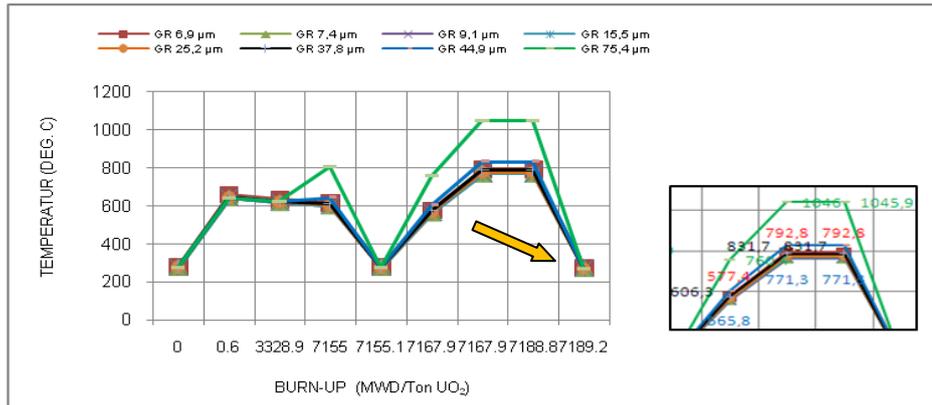
TATA KERJA

Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data hasil fabrikasi pelet UO_2 tanpa dopan dan dengan dicampurkan dopan Cr_2O_3 . Hasil penelitian sebelumnya mendapatkan bahwa penambahan prosentase dopan akan meningkatkan densitas dan menaikkan ukuran butir pelet sinter pada kondisi penyinteran yang sama dengan tanpa dopan^[1]. Metoda analisis unjuk kerja pasca iradiasi yang dipergunakan kode komputer FEMAXI-V adalah metoda yang dapat memprediksi unjuk kerja satu *pin* bahan bakar utuh dengan simulasi densitas pelet dan besar butir terhadap unjuk kerja pelet dengan asumsi kondisi operasi daya berundak (*ramp test*).

Variasi data pelet hasil fabrikasi ini masing-masing diidentifikasi dengan membandingkan antara pelet menggunakan dopan dan tanpa menggunakan dopan. Analisis selanjutnya dilakukan menggunakan kode komputer FEMAXI-V untuk memprediksi fenomena fisik pelet selama uji iradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

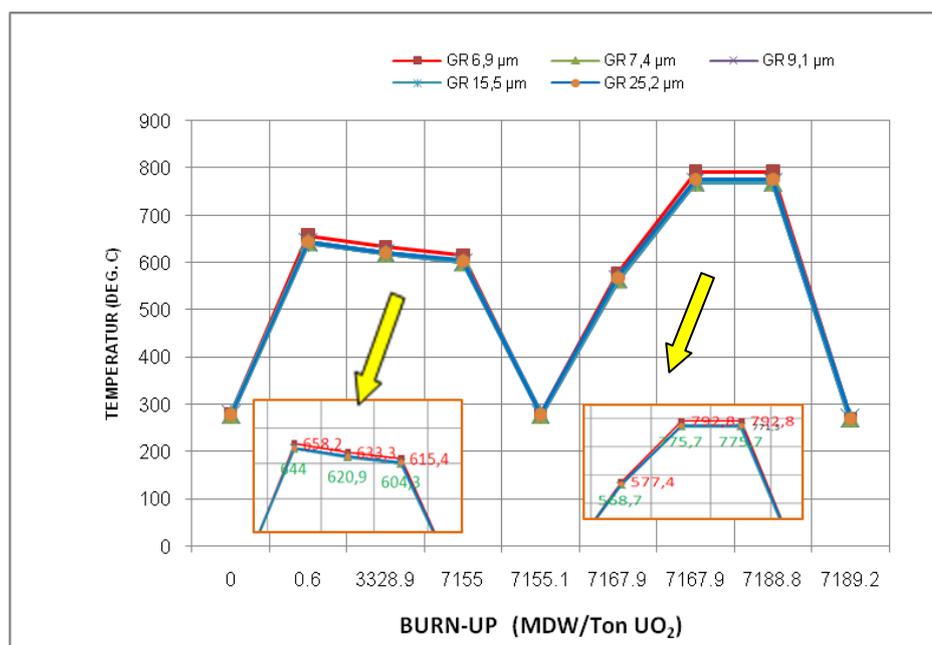
Untuk mengetahui pengaruh ukuran butir pelet UO_2 sinter terhadap proses termal pasca iradiasi dilakukan analisis menggunakan kode komputer FEMAXI-V. Dari penelitian sebelumnya untuk pelet tanpa dopan mempunyai ukuran butir 6,9 μm dan selanjutnya dengan variasi penambahan dopan Cr_2O_3 diperoleh variasi ukuran butir mulai dari 7,4 μm sampai 75,4 μm dan menghasilkan densitas pelet yang berbeda. Tujuan analisis menggunakan kode komputer FEMAXI-V adalah untuk menguji *pin* bahan bakar *pasca* iradiasi pada daya berundak dan untuk mengetahui linieritas hubungan antara daya termal terbangkitkan dengan proses termal pada pelet. Hasil analisis hubungan antara *burn-up* dengan temperatur yang terjadi pada pusat pelet selama iradiasi untuk variasi ukuran butir akibat penambahan dopan ditunjukkan pada Gambar 1.



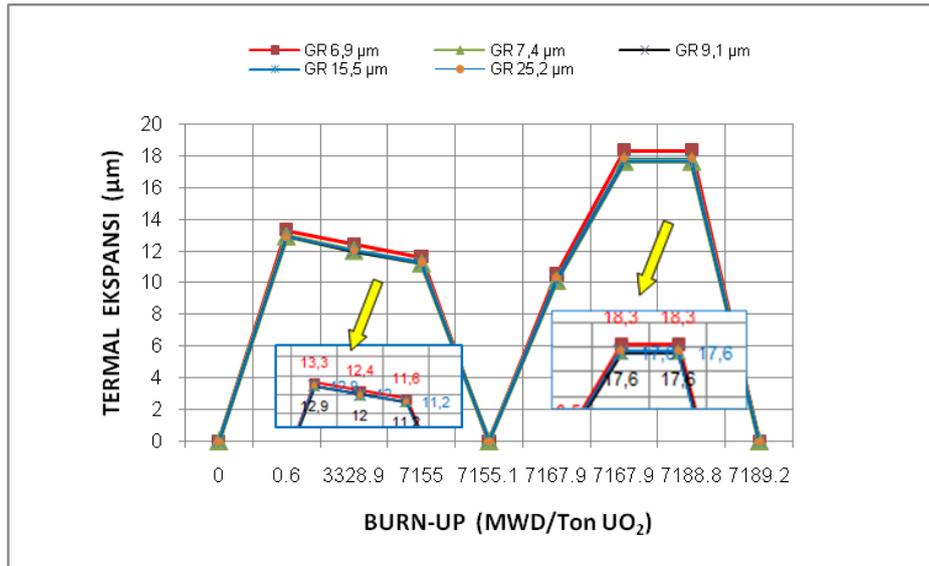
Gambar 1. Hubungan *Burn-Up* dengan temperatur pada pusat pelet^[9,10]

Pada Gambar 1 terlihat bahwa temperatur di pusat pelet cenderung terjadi peningkatan seiring dengan makin besar ukuran butir. Bila dibandingkan dengan standar data acuan yang ada bahwa ukuran butir terbaik berkisar 10 – 20 μm^[2]. Hal ini terbukti bahwa pelet hasil fabrikasi untuk ukuran butir di atas 25 μm menunjukkan terjadinya peningkatan temperatur yang tajam pada pusat pelet untuk ukuran butir 75,4 μm pada *burn-up* diatas 7167,9 MWD/ton UO₂, sehingga dalam bahasan selanjutnya diambil ukuran butir 6,9 μm sampai 25,2 μm.

Pada Gambar 2 dan gambar 3 terlihat bahwa untuk ukuran butir antara 9,1 μm dan 15,5 μm terjadi penurunan temperatur dan penurunan termal ekspansi pada pusat pelet dibandingkan dengan ukuran butir lainnya.

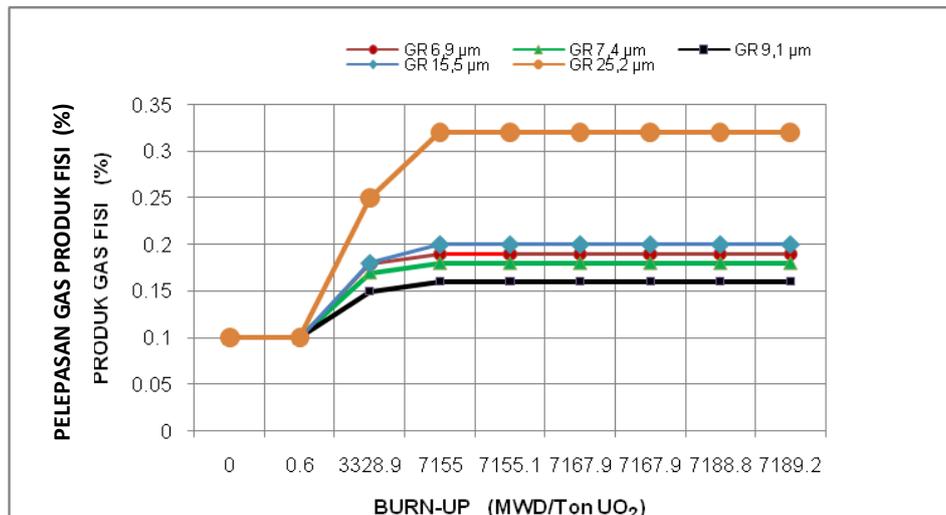


Gambar 2. Hubungan *Burn-Up* dengan temperatur pada pusat pelet^[9,10]



Gambar 3. Hubungan *Burn-Up* dengan ekspansi termal pada pusat pelet ^[9,10]

Gambar 4 menampilkan pola hubungan antara *burn-up* dengan produk gas fisi yang terlepas selama iradiasi dengan berbagai ukuran butir yang diperoleh dari variasi penambahan dopan pada pelet yang telah difabrikasi.



Gambar 4. Hubungan *Burn-Up* dengan pelepasan gas produk fisi^[9,10]

Secara umum diperoleh bahwa untuk pelet dengan ukuran butir < 15 µm, pengaruh *burn up* terhadap temperatur mempunyai pola yang sama dengan pengaruh *burn up* terhadap ekspansi termal pada pusat pelet. Dan bila dibandingkan dengan pengaruh *burn up* terhadap pelepasan gas produk fisi untuk pelet dengan ukuran butir < 15 µm menunjukkan perbedaan produk gas fisi terlepas yang signifikan dibandingkan dengan ukuran butir lainnya.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan dopan mempunyai peranan yang penting dalam menahan terlepasnya produk gas fisi. Pelet UO_2 dengan ukuran butir antara $9,1 \mu\text{m}$ dan $15,5 \mu\text{m}$ yang menggunakan dopan Cr_2O_3 mempunyai sifat termal yang lebih baik. Fenomena ini menunjukkan bahwa pelet UO_2 berbutir besar memiliki sifat termal lebih baik dan aman dari segi keselamatan iradiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ety Mutiara, Tri Yulianto, (2013) "Efek Penambahan Dopan Terhadap Karakteristik Pelet UO_2 Sinter", (Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania Vol. 19 No. 2)
2. Bernhard Kienzle, Volker Metz (2012) The 7th Framework Programme Collaborative Project FIRST-Nuclides : State-of-the-Art and Rationale for Experimental Investigation.
3. Suzuki Motoe, (1999) "FEMAXI-V : A Computer Code for the Analysis of Thermal and Mechanical Behavior of Fuel Rods, JAERI.
4. Anonim, (1992) "FEMAXI-IV: A Computer Code for the Analysis of Thermal and Mechanical Behavior of Fuel Rods, JAERI Fuel Reliability Laboratory CRC Research Institute, Inc.
5. Edy Sulistyono, Tri Yulianto, Ety Mutiara (2013) Analisis Pengaruh Daya untuk Pengujian pin Bahan Bakar tipe PWR di PRTF RSG-GAS (Jurnal Teknologi Bahan Nuklir)
6. Edy Sulistyono, Ety Marti Wigayati (2013) Analisis Sifat Termal terhadap Unjuk Kerja Pin Bahan Bakar Nuklir tipe PWR pada Kondisi Tunak (URANIA Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Vol 19 No. 2 ISSN 0852-4777)
7. Edy Sulistyono, (2013) "Evaluasi Pengaruh Burn-up Terhadap Pelepasan produk Gas Fisi", Prosiding PIN Penelitian Elemen Bakar Nuklir Tahun 2013, ISSN 1979-2409.
8. Edy Sulistyono, Ety Marti Wigayati (2014) Simulasi Creep Pada Kelongsong Pin Bahan Bakar Nuklir tipe PWR Dengan FEMAXI-V (Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir Vol XI, No. 2 ISSN 0216-2695)
9. Tri Yulianto, Ety Marti Wigayati, (2015), Pengaruh penambahan dopan Cr_2O_3 pada pelet UO_2 terhadap sifat termal dan mekanik pin bahan bakar reaktor tipe PWR pasca iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Vol. XI, No. 2, p 60-68.

10. 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.