

KAJIAN ANALISIS GAS FISI DALAM BAHAN BAKAR NUKLIR REAKTOR DAYA BERBENTUK ROD PASCA IRADIASI

Sri Ismarwanti, Rohmad Sigit, Maman Kartaman Ajriyanto, Agus Jamaludin
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN,

ABSTRAK

Analisis gas fisi dalam bahan bakar nuklir reaktor daya berbentuk rod adalah salah satu rangkaian dalam uji pasca iradiasi. Gas hasil fisi ini berpengaruh terhadap performa bahan bakar karena tekanan yang ditimbulkannya dapat menurunkan ketahanan dari bahan kelongsong. Makalah ini bertujuan untuk mempelajari metode-metode yang telah digunakan di beberapa negara untuk melakukan analisa gas hasil fisi bahan bakar nuklir reaktor daya berbentuk *rod* pasca iradiasi. Hasil dari pembelajaran tersebut akan menjadi referensi di Instalasi Radiometalurgi untuk melakukan analisis gas fisi yang disesuaikan dengan peralatan yang telah ada ataupun untuk melakukan desain peralatan baru.

Kata Kunci: gas fisi, instalasi radiometalurgi, puncturing device

PENDAHULUAN

Uji pasca iradiasi dilakukan untuk memperoleh data kinerja bahan bakar selama di reaktor salah satu ujinya adalah pengukuran dan analisis gas fisi. Bahan bakar nuklir reaktor daya berbentuk rod menghasilkan gas fisi yang dalam setiap tahap uji pasca iradiasi selalu dilakukan analisis. Analisis gas fisi perlu dilakukan untuk mengetahui performa dari bahan bakar. Dari analisis gas fisi dapat diketahui rasio Xe dan Kr. Instalasi radiometalurgi (IRM) adalah instalasi yang didesain untuk uji pasca iradiasi bahan bakar reaktor riset jenis *material testing reactor* (MTR) dan bahan bakar reaktor daya jenis *Pressurized Water Reactor* (PWR) dan *Pressurized Heavy Water Reactor* (PHWR)^[1]. Desain IRM dilengkapi fasilitas untuk uji gas fisi. Uji gas fisi IRM terbagi dua bagian yaitu alat untuk pengambilan gas fisi berupa *puncturing device* dan alat untuk menganalisa gas fisi yaitu gas chromatografi. Peralatan *puncturing device* sekarang telah dikeluarkan dari *hot cell*. Hal ini dilakukan dalam tahap dekontaminasi *hot cell* yang telah dilakukan IRM dari tahun 2014. Sedangkan alat uji gas cromatografi telah dimusnahkan karena rusak. Untuk mewujudkan Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) unggul ditingkat regional maka fasilitas uji pasca iradiasi perlu direvitalisasi agar mampu menghasilkan data yang terjamin mutunya. Sesuai dengan kegiatan bidang uji radiometalurgi 2018 maka perlu dilakukan kajian terhadap metode analisis gas fisi yang telah digunakan di beberapa negara. Hasil kajian diharapkan mampu menjadi referensi untuk melakukan perbaikan maupun peremajaan kelengkapan alat analisis gas fisi bahan bakar reaktor daya berbentuk rod pasca iradiasi.

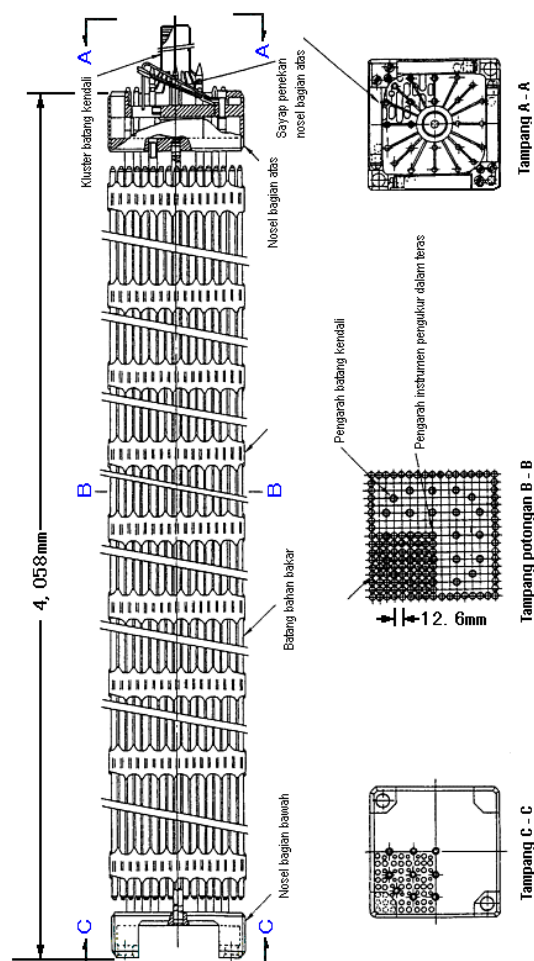
METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah dengan mempelajari karakteristik pelepasan gas hasil fisi bahan bakar nuklir reaktor daya berbentuk rod pasca irradiasi. Tahap selanjutnya mempelajari tentang alat dan metode penentuan gas fisi dari referensi, mempelajari dan menganalisis peralatan *puncturing device* yang ada di IRM. Dari hasil tersebut diharapkan mampu memberikan masukan untuk manajemen mengenai alat terkait.

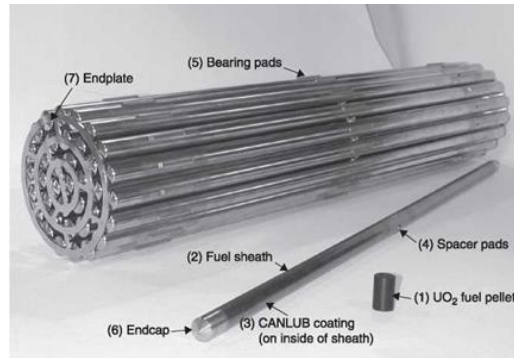
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelepasan Gas Hasil Fisi Bahan Bakar Nuklir Berbentuk Rod

Bahan bakar nuklir berbentuk *rod* digunakan oleh reaktor jenis *Pressurized Water Reactor (PWR)* dan *Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)*. Bentuk fisik bahan bakar PWR dan PHWR dapat dilihat pada gambar 1 dan 2, spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Bundel bahan bakar PWR [2].



Gambar 2. Komponen bahan bakar PHWR (CANDU)^[3].

Tabel 1. Spesifikasi bahan bakar PWR^[4] dan PHWR^[5].

| Komponen Bahan Bakar | PWR | PHWR |
|--|-----------------|----------------------|
| Bahan pelet bahan bakar (tersinter) | UO ₂ | UO ₂ alam |
| Diameter pelet (cm) | 0,826 | 1,432 |
| Panjang pelet (cm) | 0,991 | 1,718 |
| Densitas pelet (g/cm ³) | 10,44 | 10,55 |
| Densitas teoritis pelet (g/cm ³) | 10,96 | 10,96 |
| Densitas pelet (% teoritis) | 92,25 | 92,25 |
| Densitas tumpukan (g/cm ³) | 10,114 | 10,114 |
| Bahan kelongsong | Zircaloy-4 | Zircaloy-2 |
| Diameter dalam kelongsong (cm) | 0,843 | 1,440 |
| Diameter luar kelongsong (cm) | 0,97 | 1,520 |
| Tebal kelongsong, nominal (cm) | 0,0635 | 0,04 |
| Tebal gap, dingin, nominal (cm) | 0,01778 | 0,008 |
| Panjang aktif (cm) | 381 | 48.10 |
| Panjang plenum (cm) | 24,531 | |

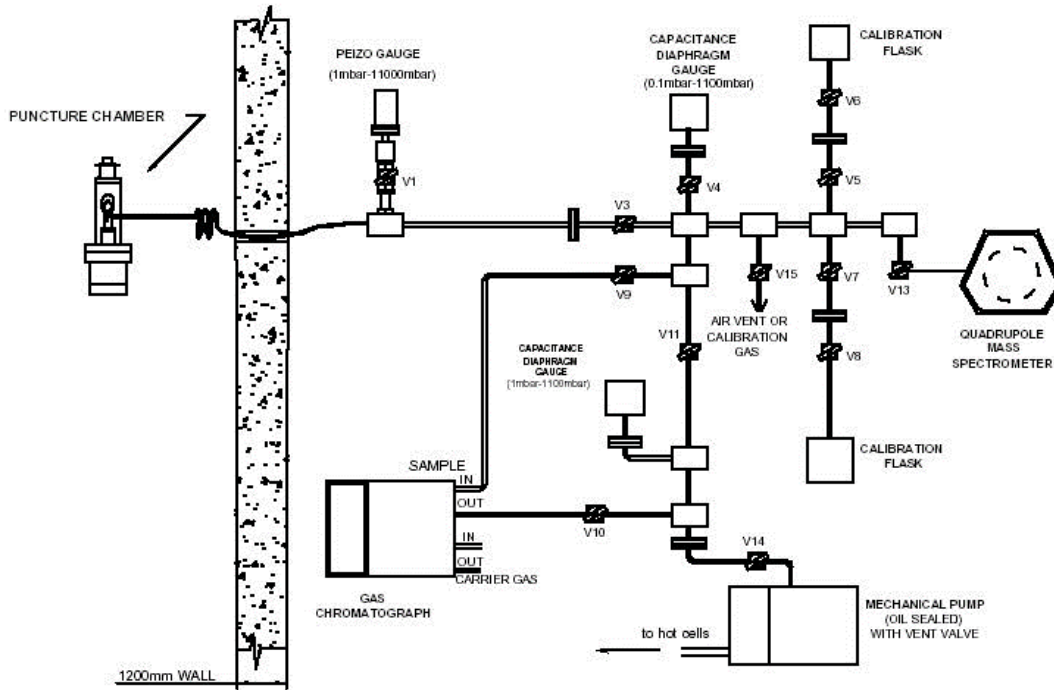
Selama diiradiasi bahan bakar menghasilkan produk fisi berupa gas mulia Xe dan Kr. Gas-gas mulia ini tidak larut dalam matrik bahan bakar dan dapat terlepas dari matrik mengisi ruang kosong yang ada di elemen bakar. Proses pelepasan gas mulia ini dapat menaikkan tekanan internal yang dapat menyebabkan meningkatnya tekanan pada kelongsong. Sedangkan pembengkakan bahan bakar dapat terjadi jika gas-gas tersebut tidak dilepaskan dari bahan bakar. Faktor yang memegang peranan penting dalam pelepasan gas fisi dalam bahan bakar adalah suhu, *burn up* bahan bakar, ukuran butir, laju fisi, dan restrukturisasi^[2]. Pada suhu rendah (<700 °C) mekanisme pelepasan gas yang dominan adalah *recoil* dan *knock out*. Pelepasan hanya terjadi di dekat permukaan saja, maka fraksi gas hasil belah yang terlepas relatif kecil, yaitu kurang dari 1%. Pada *burn up* tinggi (> 50 MWD / kg U) mekanisme ini dapat menghasilkan pelepasan gas fisi yang signifikan karena adanya pembentukan *porous rim* di pinggiran pelet. Pada suhu

antara 700 - 1000 °C, mobilitas atom gas fisi terlalu rendah untuk memungkinkan pergerakan atom gas yang cukup besar dan dapat mengakibatkan *swelling*. Pada suhu antara 1000 °C dan 1300 °C, mobilitas atom gas dalam bahan bakar meningkat dan proses pelepasannya secara difusi. Di samping itu, juga mulai terjadi mekanisme pengintian atom-atom gas hasil belah membentuk gelembung gas. Gelembung-gelembung gas yang telah terbentuk tersebut kemudian berdifusi dan setelah sampai di batas butir atau cacat yang ada di dalam butir (dislokasi), gelembung-gelembung gas tersebut akan diendapkan. Proses pelepasan terjadi apabila bidang batas butir sudah jenuh dengan gelembung gas sehingga gelembung saling bergabung membentuk pori terbuka^[4]. Pada suhu di atas 1300 °C, bahan bakar mengalami pertumbuhan butir yang sama. Pertumbuhan butir menghasilkan penyapuan batas butir. Oleh karena itu, pada suhu dalam kisaran 1300 °C - 1600 °C, pelepasan gas terjadi oleh kombinasi difusi atom serta oleh penyapuan batas butir.

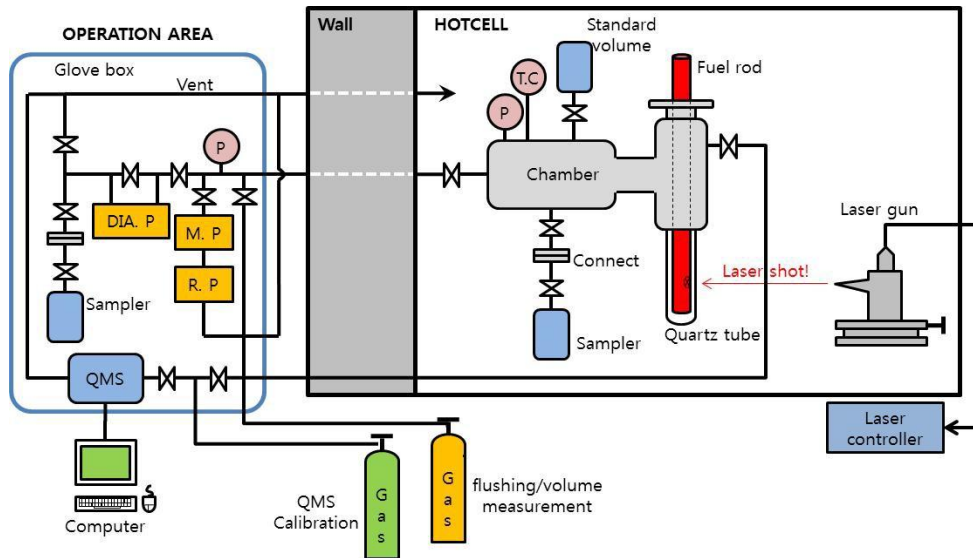
Analisa Gas Fisi Pin PWR

Tahun 2005, *Bhaba Atomic Research Center* (BARC) ^[6] melakukan pengukuran gas hasil fisi terhadap bahan bakar *Pressurized Heavy Water Reactor* (PHWR) pasca iradiasi dengan volume kosong elemen sekitar 2-3 cc. Gas fisi di dalam elemen diambil menggunakan sebuah *puncturing device* dengan alat bor *tungsten carbide tipped centre*. *Puncture chamber* terhubung ke *gas collection* oleh pipa *stainless steel* diameter 2 mm dan juga terhubung ke sistem analisis yang berada di *operating area*. Komposisi gas hasil fisi dianalisis menggunakan *dual column gas chromatography* (GC) menggunakan *thermal conductivity detector* dan gas pembawanya menggunakan Helium. Rasio isotop Xe dan Kr dianalisa menggunakan *Quadrupole Mass Spectrometer* (QMS) dengan detektor Channeltron dan Faraday. Skema diagram *puncturing device* dan alat analisis yang telah digunakan oleh BARC dapat dilihat pada gambar 3.

Selain BARC di India, Korea juga telah melakukan pengembangan terhadap *puncturing device* untuk analisa gas fisi bahan bakar rod pada tahun 2014 ^[7]. Sistem yang telah dikembangkan terdiri dari 4 bagian yaitu: *vacuum device puncturing chamber*, *laser device*, and QMS (Quadruple Mass Spectrometer). Sistem diinstal pada 2 bagian yaitu pada area hot cell dan area operator seperti terlihat pada gambar 4. *Puncturing chamber* terbuat dari stainless steel yang dilengkapi dengan *quartz tube* (untuk bagian menembakkan laser) dan *laser device* diinstall pada area hot cell sedangkan QMS dan pompa vakum diinstal pada bagian *operating area* seperti ditunjukkan pada gambar 5 (a) dan (b).



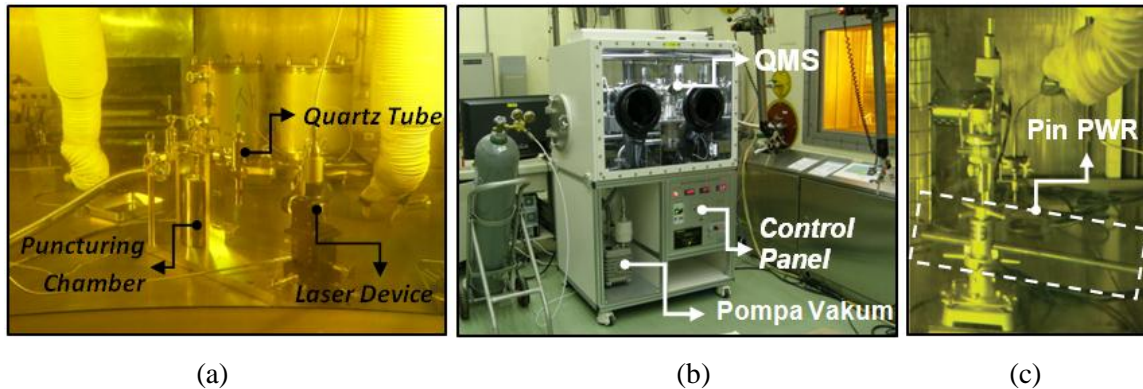
Gambar 3. Diagram skema pengumpulan gas hasil fisi dan sistem pengukurannya^[6]



Gambar 4. Skema analisa gas hasil fisi dan pengambilan gas hasil fisi^[7].

Tahun 2015 Bhaba Atomic Research Center (BARC) membuat fasilitas baru untuk uji pasca iradiasi termasuk fasilitas untuk mengukur gas hasil fisi, peralatan yang digunakan untuk mengambil gas hasil fisi (*puncturing chamber*) seperti pada gambar 5 (c). Peralatan tersebut berada di dalam hot cell yang terkoneksi dengan *collection* gas (tabung *stainless steel*) dan alat ukur yang berada di *operating area*. Komposisi kimia dianalisis menggunakan dual kolom gas cromatography dengan argon sebagai gas pembawa. Untuk

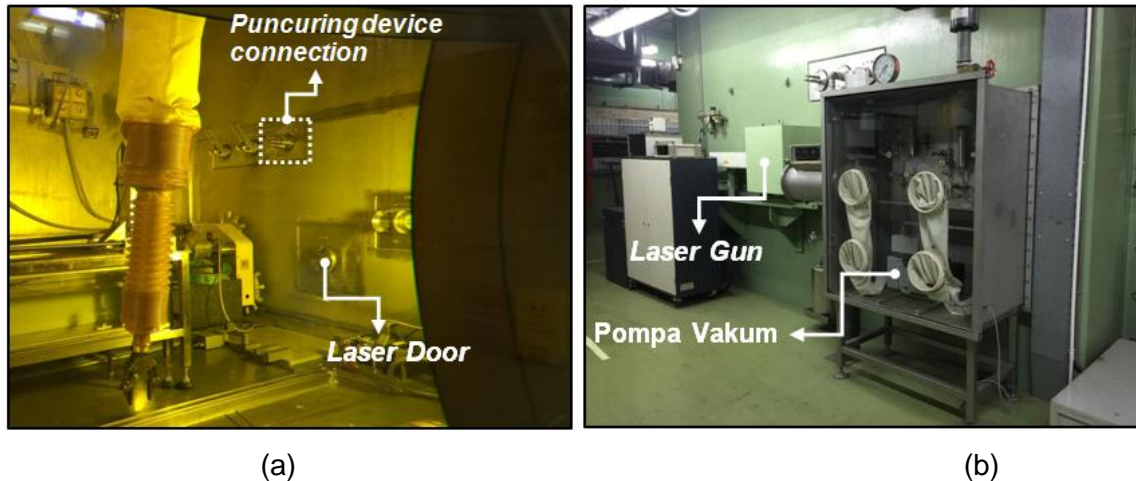
mendeteksi masing-masing gas menggunakan *thermal conductivity detector* dan untuk mengukur rasio Xe dan Kr isotop menggunakan QMS.



Gambar 5. Set up puncturing chamber dan laser device di dalam hot cell (a); sistem kendali di operating area (b)^[7]; dan set up puncturing di dalam hot cell di BARC (c)^[8]

Alat Analisis Gas Fisidi IRM

Dokumen IRM sebagai fasilitas uji pasca irradiasi menunjukkan bahwa pada tahun 1991 telah dilakukan komisioning alat untuk analisis gas fisi yaitu *puncturing device* dan *laser device* serta *gas chromatography*^[9]. *Puncturing device* dan *laser device* terpasang di hot cell 103. Alat-alat tersebut telah mengalami penuaan karena faktor lingkungan (paparan radiasi, kelembaban, temperatur). Alat *puncturing device* terpapar radiasi dan terkontaminasi, sehingga pada tahun 2014 telah dikeluarkan dari hot cell 103. Di hot cell masih terdapat *connection* ke pompa vakum dan *laser gun* seperti pada Gambar 6. Alat vakum yang berada di *operating area* telah lama tidak digunakan dan beberapa selang koneksi telah rusak. Alat analisis komposisi gas yaitu *gas chromatography* telah dimusnahkan karena rusak pada tahun 2015. Gambar 6.b adalah gambar alat pompa vakum untuk *puncturing device* dan *laser gun*. Alat yang terpasang sebagian besar terbuat dari *stainless steel* dan beberapa bagian tidak terkoneksi karena selang yang telah terpasang rapuh. Laser gun digunakan untuk menutup kembali pin yang telah dilubangi dengan menggunakan bor mekanik.



Gambar 6. *Puncturing device* dan *laser gun* di *hot cell area* (a) dan di *operating area* (b)

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa desain awal IRM telah mempunyai fasilitas *collection gas (puncturing device)* gas fisi dan analisis gas fisi. *Puncturing device* telah mengalami penuaan dan diperlukan peremajaan dengan memanfaatkan fasilitas pengkabelan yang telah ada. Peremajaan alat *puncturing device* perlu didesain dengan dilengkapi bor laser untuk mengurangi kebocoran dalam sistem vakum. Perlu dilakukan pembelian alat GC-QMS yang diletakkan di luar hot cell.

DAFTAR PUSTAKA

1. LAK, T., *LAPORAN ANALISIS KESELAMATAN (LAK) INSTALASI RADIOMETALURGI (IRM)*, P.T.B.B. Nuklir, Editor. 2006.
2. Anonim, *REAKTOR AIR TEKAN (PRESSURIZED WATER REACTOR, PWR)*, in *Ensiklopedi Teknologi Nuklir*.
3. *Nuclear Fuel Cycle Science and Engineering*, ed. I. Crossland. 2012, Cambridge: Woodhead Publishing.
4. Herutomo, B., *Bahan Bakar Nuklir dan Kinerjanya di Reaktor*, P.T.B.B. Nuklir, Editor. 2011, Pusdiklat BATAN.
5. D.N. Sah, U.K.V., K. Unsikrishnan, Prerna Mishra, R.S. Shriwastaw and S. Anantharaman, *POST-IRRADIATION EXAMINATION OF HIGH BURN_UP PHWR FUEL BUNDLE 56504 FROM KAPS-1*, B.A.R.C. Post Irradiation Examination Division, Editor. 2007, Bhabha Atomic Research Centre: Mumbai, India.

6. Viswanathan, U.K., S. Anantharaman, and K.C. Sahoo, *Measurement of Fission Gas Release from Irradiated Nuclear Fuel Elements*, B.A.R.C. Post Irradiation Examination Division, Editor. 2005.
7. Kim, H., et al. *Development Of Laser Puncturing And Fission Gas Analysis System For Fuel Rod in hot cell*. in *HOTLAB 2014*. 2014.
8. Bhandekar, A., et al., *New Hot cell Facility for Post Irradiation Examination*. Technology Development Article, 2015. March-April 2015: p. 8.
9. GCNF, *Puncturing Device*, Vol III 41-43, RML Document, 1989.