

VERIFIKASI SAFEGUARDS IAEA TERHADAP BAHAN BAKAR BEKAS DENGAN CERENKOV VIEWING DEVICE

Endang Susilowati

ABSTRAK

VERIFIKASI SAFEGUARDS IAEA TERHADAP BAHAN BAKAR BEKAS DENGAN CERENKOV VIEWING DEVICE. Salah satu kegiatan *safeguards* Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) adalah melaksanakan inspeksi ke fasilitas nuklir negara anggota, diantaranya adalah inspeksi ke reaktor nuklir termasuk di dalamnya adalah fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas. Untuk menyimpulkan bahwa operator tidak menyelewengkan bahan nuklir yang menjadi tanggung jawabnya perlu dilakukan beberapa pengujian. Pengujian bahan bakar bekas dengan menggunakan alat khusus yaitu *Cerenkov Viewing Device* (CVD), merupakan pengujian tak merusak, yang pertama dipilih karena disamping handal juga dapat dilaksanakan dengan cepat, tidak mengganggu proses operasi fasilitas dan sekaligus memenuhi kriteria *safeguards* bahan nuklir IAEA. Cahaya *cerenkov* yang tampak dari kolam penyimpanan bahan bakar bekas merupakan tanda terbangkitnya produk fisi di dalam bahan bakar bekas dan sekaligus membuktikan kebenaran atas keberadaan bahan bakar bekas di kolam penyimpanan. Tulisan ini bertujuan untuk mengenalkan dan membahas tentang karakteristik, faktor-faktor yang mempengaruhi kenampakan cahaya *cerenkov* di dalam kolam penyimpanan dan penggunaan CVD dalam kegiatan *safeguards* IAEA. Pengetahuan, pengalaman dan keterampilan menggunakan CVD merupakan faktor penentu keberhasilan pengujian. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan apakah pihak fasilitas dapat/ tidak dapat mempertanggungjawabkan penggunaan bahan nuklirnya.

ABSTRACT

IAEA SAFEGUARDS VERIFICATION OF NUCLEAR SPENT FUEL USING CERENKOV VIEWING DEVICE. One of the International Atomic Energy Agency *safeguards* activities is to conduct an inspection to various nuclear facilities among member States such as inspection to nuclear reactor covering verification to a spent fuel storage pond. In order to recognize that diversion of nuclear material does not occur it is necessary to carry out various nuclear verification. Verification of spent nuclear fuel using special tool of *Cerenkov Viewing Device* beside fulfil *safeguard* criteria also constitute of a non-destructive assay method firstly chosen due providing fast, reliable and non-intrusive verification. *Cerenkov* glow seen in spent fuel pond prove an evidence that no diversion of nuclear spent fuel occurred. This paper is purposed to introduce and discuss of *cerenkov* glow characteristic, influencing parameters of *cerenkov* glowing in a spent fuel pond and CVD use in IAEA *safeguards*. Knowledge, experiences and skill of using CVD for spent fuel verification are key feature on assuring of successful verification. Based on verification result the IAEA is able to conclude whether all spent fuels are completely account for.

PENDAHULUAN

Pelaksanaan *safeguards* IAEA ditujukan untuk menjamin bahwa pembuatan dan penggunaan bahan nuklir di negara anggota hanya ditujukan untuk maksud damai bukan untuk pembuatan senjata nuklir dan penggunaan yang tidak dapat dipertanggungjawabkan. Salah satu kegiatan IAEA untuk mewujudkan maksud tersebut adalah dengan melaksanakan inspeksi ke semua fasilitas nuklir yang dideklarasikan oleh negara anggota. Pada waktu inspeksi dilaksanakan beberapa pengujian atas keberadaan bahan nuklir yang dideklarasikan oleh pihak fasilitas untuk membuktikan kebenarannya. Pengujian bahan nuklir dilakukan dengan peralatan yang beragam tergantung dari bentuk dan jenis bahan nuklir yang diuji. Akan lebih

baik apabila pengujian dilaksanakan tanpa mengganggu jalannya operasi/ proses fasilitas.

Non-destructive assay atau pengujian tak merusak merupakan pengujian yang dilaksanakan ke hampir semua fasilitas nuklir. Pengujian bahan bakar bekas dengan *Cerenkov viewing Device* (CVD) termasuk pengujian tak merusak yang dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) ketika IAEA mengadakan pemeriksaan fisik tahunan ataupun pada saat inspeksi interim ke fasilitas nuklir. Metoda ini merupakan metoda pengujian yang handal, dapat dilaksanakan dengan cepat dan tidak mengganggu proses operasi fasilitas dan sekaligus memenuhi kriteria *safeguards* IAEA.

Cahaya *cerenkov* yang tampak dari kolam penyimpanan bahan bakar bekas berasal dari partikel gamma yang dipancarkan oleh produk fisi yang

terkumpul di dalam bahan bakar bekas. Partikel gamma berinteraksi dengan air melalui hamburan Compton, menghasilkan elektron yang bergerak bebas dengan kecepatan melebihi kecepatan cahaya di dalam air yang kemudian nampak sebagai cahaya cerenkov. Fenomena ini memberikan manfaat terhadap kegiatan *safeguards* bahan nuklir yang dilaksanakan oleh IAEA karena pancaran cahaya cerenkov menandakan adanya produk fisi yang terbangkit dan sekaligus membuktikan bahwa semua bahan nuklir yang tersimpan dan sedang diperiksa adalah bahan bakar bekas asli bukan bahan bakar bekas yang dipalsukan. Apabila intensitas cahaya cerenkov yang dipancarkan sangat rendah maka akan sulit dideteksi dengan mata telanjang. Hanya sumber partikel bermuatan yang mempunyai intensitas yang tinggi saja yang dapat memproduksi cahaya cerenkov yang dapat terlihat dengan mata telanjang, sehingga dibutuhkan peralatan yang sensitif khususnya untuk mengatasi cahaya cerenkov dengan intensitas rendah dan juga untuk mengatasi keberadaan lampu penerangan. Alat khusus untuk melihat cahaya cerenkov tersebut adalah: *Cerenkov viewing Device(CVD)*.

CVD dilengkapi dengan beberapa komponen yang mampu meneruskan sinar ultraviolet dari cahaya cerenkov yang dibangkitkan, menguatkan intensitasnya dan menahan cahaya lain yang berasal dari lampu penerangan yang biasanya digunakan di balai penyimpanan bahan bakar bekas. Alat ini mampu merefleksikan bentuk dari bahan bakar yang sedang diperiksa. Pemalsuan bahan bakar bekas yang mungkin dilakukan oleh operator dapat dideteksi dengan CVD, karena bahan bakar bekas mempunyai karakter yang spesifik dan menghasilkan gambar yang spesifik pula.

Lingkup tulisan ini adalah membahas tentang proses pembangkitan cerenkov, karakteristik dan faktor-faktor yang mempengaruhi kenampakan cahaya cerenkov di dalam kolam penyimpan. Pengetahuan, keterampilan menggunakan CVD dan pengalaman merupakan faktor penentu keberhasilan

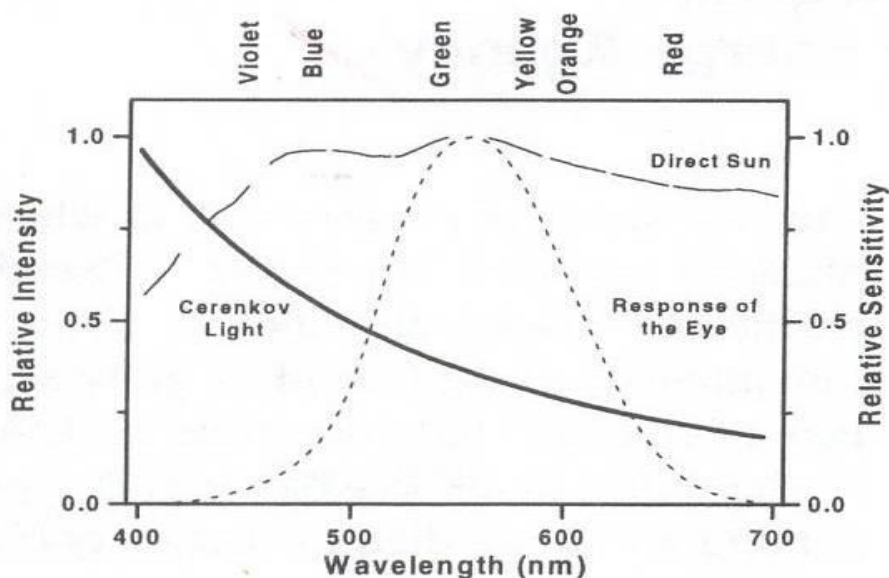
pengujian. Hasil pengujian bahan nuklir yang dilaksanakan oleh IAEA secara independent dikonfirmasi dengan informasi yang dideklarasikan oleh operator. Pada tahap lanjut dilakukan evaluasi untuk menyimpulkan bahwa pihak fasilitas mematuhi/ tidak mematuhi kegiatan safeguards seperti yang disepakatinya.

TEORI

Proses Pembentukan Cahaya Cerenkov

Cahaya cerenkov dipancarkan ketika partikel bermuatan bergerak di dalam media yang transparan (misalnya air) dengan kecepatan melebihi kecepatan cahaya di dalam media tersebut, tetapi tidak lebih cepat dari kecepatan cahaya di ruang hampa.. Cahaya cerenkov secara dominan dihasilkan di daerah ultraviolet, violet dan daerah biru spektrum elektromagnetik, seperti ditunjukkan pada Gambar1. Panjang gelombang energi photon, arah pancaran dan intensitas cahaya cerenkov (jumlah photon yang dibebaskan/ partikel) tergantung dari kecepatan partikel. Kecepatan partikel tidak tetap tetapi berkurang ketika partikel bertumbukan dengan materi. Pada suatu kondisi, dimana kecepatan partikel sama dengan kecepatan cahaya di dalam air, maka mengakibatkan pancaran cahaya cerenkov berhenti.¹⁾

Karakteristik spektrum cahaya cerenkov dari bahan bakar bekas yang disimpan di dalam air secara sederhana dapat dijelaskan bahwa pada panjang gelombang < 220 nm cahaya cerenkov sulit untuk diukur. Cahaya cerenkov bertambah kuat dan mencapai puncaknya pada panjang gelombang sekitar 310 nm. Kemudian secara perlahan berkurang sampai mendekati 0 pada panjang gelombang sekitar 700 nm. Spektrum dari cahaya lampu yang biasanya digunakan untuk penerangan kolam penyimpan bahan bakar bekas intensitasnya lemah pada panjang gelombang < 400 nm (derah ultraviolet) dan menguat pada panjang gelombang 400 – 700 nm.⁴⁾



Gambar 1. Spectrum sinar matahari dan respon mata manusia
Kurva tebal adalah spektrum cahaya cerenkov (Ref.4)

Kecepatan minimum partikel bermuatan untuk dapat memproduksi cahaya cerenkov dirumuskan oleh persamaan :

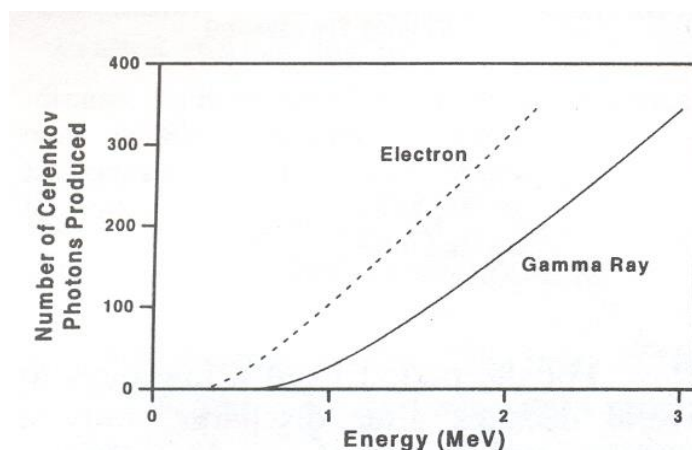
$$v = c/n$$

v = kecepatan partikel bermuatan
c = kecepatan udara di ruang hampa
n = indeks difraksi medium (air)
n untuk cahaya di ruang hampa = 1 dan n untuk cahaya di media (air) = 1,33

Dari persamaan diatas di dapat $v = 0,75\%$ kecepatan cahaya . Untuk elektron kecepatan tersebut sesuai dengan energi sebesar 0,26 MeV.

Cahaya cerenkov yang tampak dari kolam penyimpanan bahan bakar bekas berasal dari partikel

gamma yang dipancarkan oleh produk fisi yang terkumpul di dalam bahan bakar bekas. Partikel gamma tidak memproduksi cahaya cerenkov secara langsung karena photon gamma bukan partikel bermuatan. Partikel gamma tersebut berinteraksi dengan air melalui hamburan Compton, menghasilkan elektron. Sebagian elektron bergerak bebas melebihi kecepatan udara di dalam air dan nampak sebagai cahaya cerenkov. Energi gamma minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan elektron dengan kecepatan 0,26 MeV adalah 0,5 MeV. Semakin besar energi gamma, semakin besar pula intensitas cahaya cerenkov, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Intensitas cahaya cerenkov sebagai fungsi dari energi elektron dan energi gamma (Ref.4)

Cahaya cerenkov dibangkitkan di dalam air berdekatan dengan bahan bakar bekas yang disimpan dengan posisi tegak di dalam kolam penyimpanan. Cahaya cerenkov dipancarkan ke semua arah dimana pancaran mendatar diserap oleh permukaan bahan bakar bakar terdekat dan mengkolimasi cahaya cerenkov yang berada diantara bahan bakar bekas. Intensitas cahaya cerenkov berbanding lurus dengan tingkat fraksi bakar bahan bakar bekas dan berbanding terbalik dengan waktu pendinginan.

Karakteristik Produk Fisi

Selama reaksi pembelahan berlangsung di teras reaktor sebagian U^{235} yang terkandung di dalam bahan bakar akan membelah menghasilkan produk fisi. Setiap reaksi fisi biasanya menghasilkan dua atom dengan nomor massa yang berlainan. Produk fisi meluruh sambil memancarkan sinar beta membentuk nuklida lain. Sebagian nuklida yang terbentuk yang terkandung di dalam bahan bakar kemungkinan melakukan reaksi tangkapan neutron ketika masih berada di dalam reaktor. Sehingga ketika bahan bakar dikeluarkan dari reaktor produk fisi yang terbentuk kira-kira mencapai 200. Radiasi beta dan gamma dari produk fisi tersebut sangat berbahaya sehingga bahan bakar bekas harus disimpan di dalam air. Inventori produk fisi yang terkandung di dalam bahan bakar bekas memberikan informasi tentang sejarah iradiasi dan lama penyimpanan. Produk fisi umur panjang (Cs^{137} dengan umur paruh 30 tahun dan Sr^{90} dengan umur paruh 29 tahun) adalah suatu indikator yang bagus berkaitan dengan tingkatan fraksi bakar dikarenakan

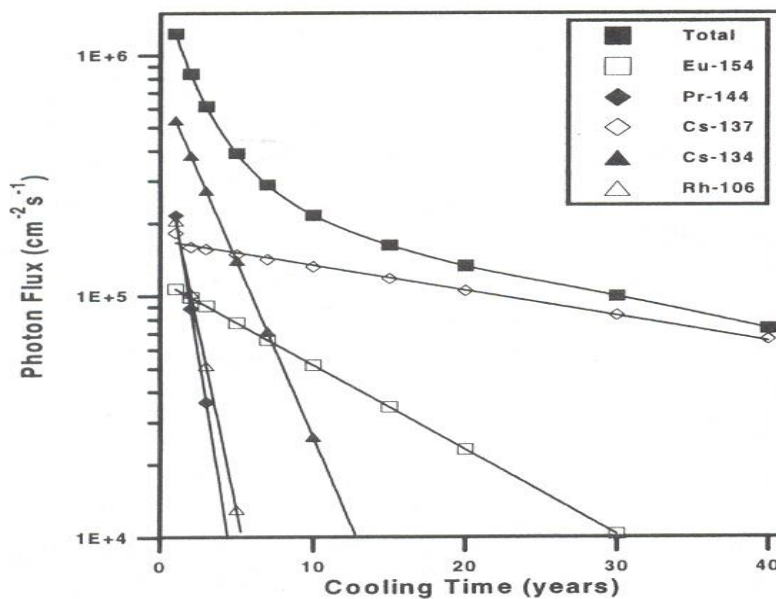
produk fisi tersebut secara bertahap dibangkitkan selama reaksi fisi di teras reaktor berlangsung. Sebaliknya produk fisi umur pendek (I^{131} dengan umur paruh 8 hari), telah mencapai kesetimbangan ketika masih di dalam reaktor dimana kecepatan pembentukannya sama dengan kecepatan peluruhannya. Aktivitas pada saat setimbang dan pada saat dikeluarkan dari reaktor tidak ada kaitannya dengan fraksi bakar tetapi berkaitan dengan rapat daya bahan bakar di saat terjadi proses fisi terakhir. Setelah keluar dari reaktor, aktivitas gamma secara cepat akan berkurang sejalan dengan meluruhnya produk fisi umur pendek dan pada akhirnya aktivitas produk fisi Cs^{137} mendominasi.

Tidak semua produk fisi secara berarti berkontribusi dengan pembentukan cahaya cerenkov sebagai contoh adalah produk fisi yang hanya memancarkan partikel beta yaitu Sr^{90} dan Y^{90} , dimana semua beta partikel diserap oleh bahan bakar dan kelongsong. Produk fisi yang lain berada dalam jumlah yang kecil. Produk fisi yang memancarkan sinar gamma $< 0,5$ MeV tidak akan membangkitkan efek Compton dan lebih lanjut cahaya cerenkov.. Produk fisi dengan umur pendek telah meluruh ketika bahan bakar mulai disimpam dikolam air dan ketika verifikasi fisik (PIV) dilaksanakan. Produk fisi umur panjang seperti Sn^{126} , mempunyai aktivitas rendah sehingga kntribusinya dapat diabaikan.

Produk fisi yang berkontribusi terhadap pembentukan cahaya cerenkov adalah ditunjukkan pada Tabel 1. Sedang pada Gambar 3 menunjukkan model intensitas cahaya cerenkov sebagai fungsi dari nuklida yang terkandung di dalam bahan bakar bekas.

Tabel 1 : Produk fisi yang berkontribusi secara berarti dalam pembentukan cahaya cerenkov

Nuklida	Umur paruh	Emisi	Energi (MeV)
Y^{90}	64,1 hari	β	$E_{max} = 0,85; 1,25$
Ce^{144}/Pr^{144}	284 hari	γ	0,7; 1,49; 2,19
Ru^{106}/Rh^{106}	368 hari	γ	0,51; 0,6; 1,05
Cs^{134}	2,06 tahun	γ	0,57; 0,60; 0,80
Eu^{154}	8,8 tahun	γ	0,72; 0,87; 1,0; 1,28
Cs^{137}/Ba^{137m}	30,2 tahun	γ	0,66

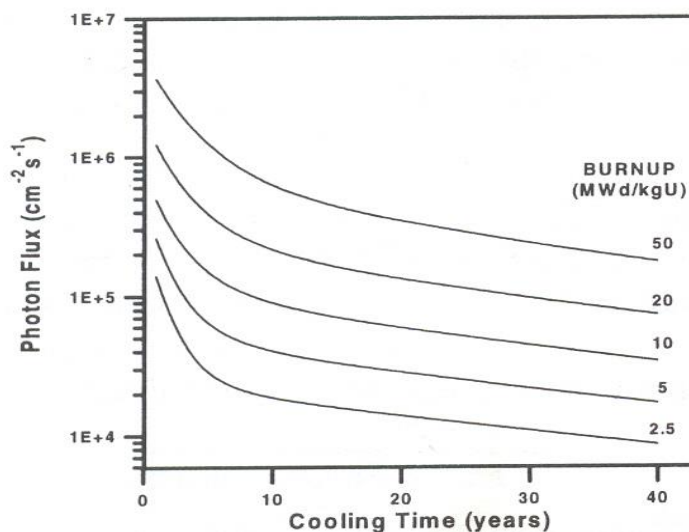


Gambar 3. Intensitas cahaya cerenkov sebagai fungsi dari nuklida yang terkandung di dalam bahan bakar bekas (Ref. 4)

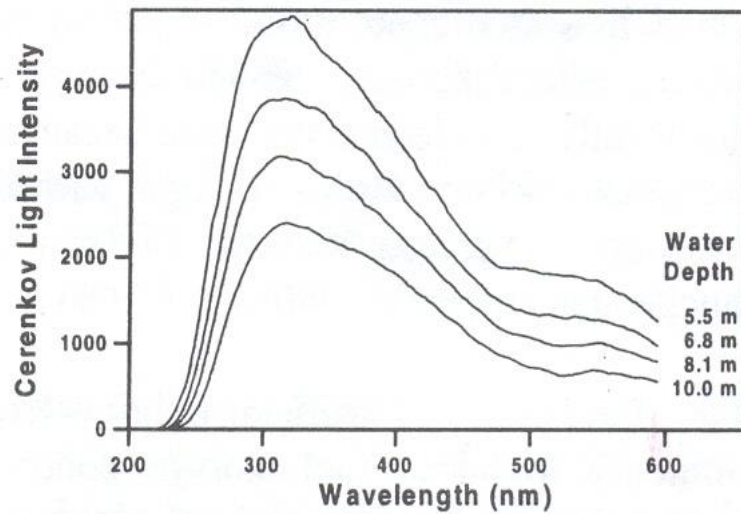
Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Cahaya Cerenkov

Faktor utama yang mempengaruhi pembentukan cahaya cerenkov dari bahan bakar bekas adalah intensitas dan spektrum energi gamma dari produk fisi yang dihasilkan selama tinggal di dalam teras reaktor. Tingkat radioaktivitas produk fisi ditentukan oleh sejarah iradiasi bahan bakar yang meliputi rapat daya, tingkat fraksi bakar dan waktu pendinginan. Setelah bahan bakar bekas dikeluarkan dari reaktor, tingkat radiasi gamma didominasi oleh produk fisi umur pendek. Jumlah/ kelimpahannya sangat terkait dengan rapat daya dibanding dengan tingkat

fraksi bakar. Akibatnya bahan bakar yang dikeluarkan dari reaktor pada saat yang sama dan fraksi bakar yang berbeda pada awalnya memberikan intensitas cerenkov yang sama. Setelah produk fisi umur pendek habis meluruh, intensitas cahaya cerenkov dapat berkurang drastis dengan faktor 100, dan secara perlahan-lahan sebanding dengan tingkat fraksi bakar dan waktu pendinginan seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan pengaruh kedalaman kolam ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Intensitas cahaya cerenkov dari berbagai tingkatan fraksi bakar dan waktu pendinginan (Ref.4).



Gambar 5. Intensitas cahaya cerenkov sebagai fungsi dari kedalaman air (Ref.4)

Disain bahan bakar, berkaitan dengan ukuran dan tata letak fuel rod, struktur komponen terutama bahan bakar untuk reaktor daya juga mempengaruhi intensitas cerenkov. Struktur bagian atas dari bahan bakar akan berpengaruh terhadap tampilan cahaya cerenkov yang dilihat dari CVD, begitu juga jenis dari rak penyimpan bahan bakar. Pada kondisi tertentu, struktur non-bahan bakar bekas dapat seolah-olah membebaskan cahaya cerenkov. Peristiwa ini terjadi ketika bahan bakar bekas yang etaknya bersebelahan memancarkan cahaya cerenkov. Peristiwa ini dinamakan *near-neighbour effect*.³⁾

Faktor lainnya yang berdampak serius terhadap intensitas cahaya cerenkov adalah zat pengotor yang terlarut di dalam air

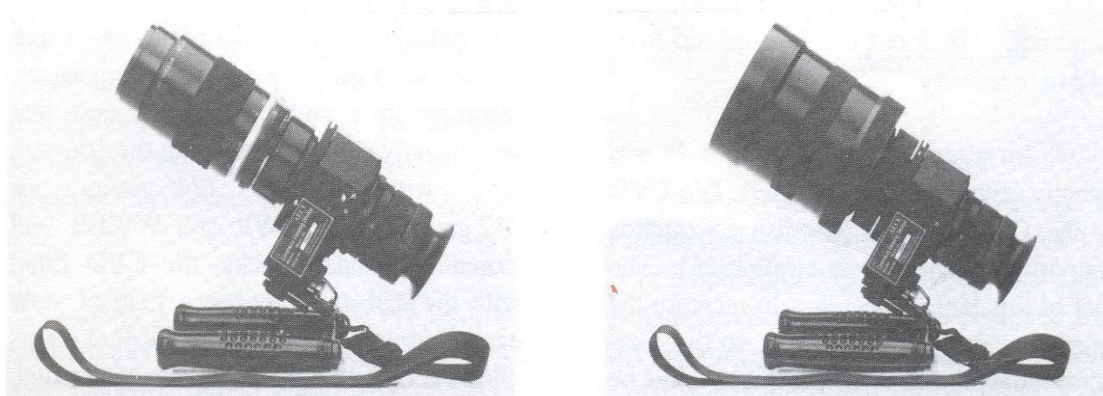
Cahaya ultraviolet dari lampu yang dipasang dibawah permukaan air akan menambah tingkatan cahaya *background*. Sedang ultraviolet dari penerangan balai operasi akan mengganggu peristiwa pemantulan. Partikel-partikel yang larut di dalam air kolam akan menyerap cahaya cerenkov

yang pada akhirnya mengurangi intensitas cahaya cerenkov.

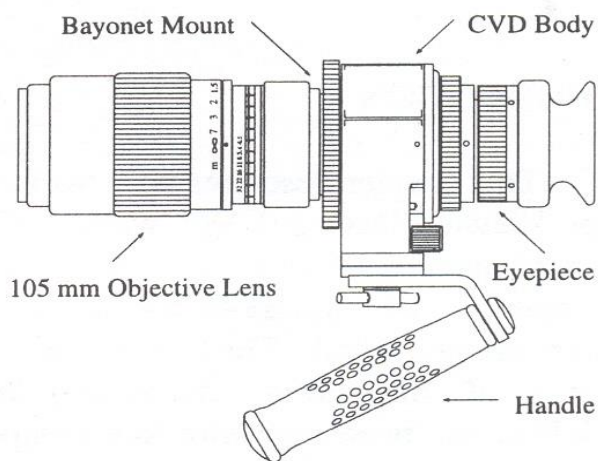
Selain hal tersebut diatas, posisi berdiri inspektur sewaktu melakukan pengujian (orientasi antara bahan bakar bekas di rak penyimpan terhadap lensa objektif) merupakan faktor penting, karena cahaya cerenkov terkolimasi secara tegak. Posisi pengamat yang tegak langsung diatas bahan bakar bekas yang diperiksa akan dapat mengamati cahaya cerenkov dengan intensitas yang lebih tinggi dibanding apabila pengamat berdiri agak menyamping

PENGUNAAN CVD UNTUK KEGIATAN SAFEGUARDS

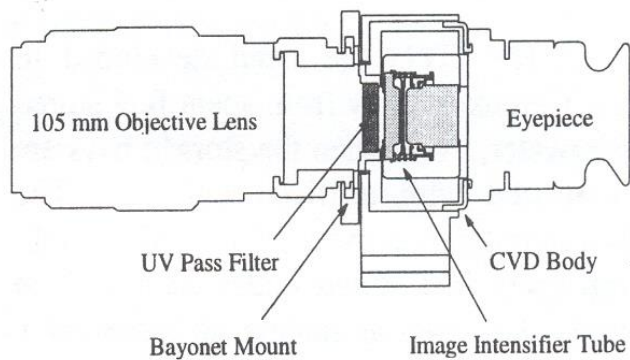
CVD dikembangkan dengan tujuan untuk mengamati/ memeriksa cahaya cerenkov yang dipancarkan dari bahan bakar bekas yang disimpan di dalam air, bahkan bila cahaya lain misalkan dari lampu penerangan tetap aktif. CVD dan komponen-komponen penyusunnya ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7A dan Gambar 7B.



Gambar 6. Cerenkov Viewing Device



Gambar 7A. Komponen-komponen luar CVD



Gambar 7B. Komponen-komponen dalam CVD

CVD dilengkapi dengan lensa objektif untuk meneruskan cahaya ultraviolet ke photocathode yang berada di *image-intensifier tube* (tabung penguat gambar). Photon ultraviolet membangkitkan photoelectron pada photocathode yang kemudian akan diperbanyak oleh *image intensifier tube* dan dipercepat didalam medan elektrostatis untuk selanjutnya diteruskan ke *phosphor screen*, dimana gambar dibentuk. Gambar diteruskan dari screen ke permukaan luar tabung penguat gambar oleh jendela *fibre-optic*. CVD dilengkapi juga dengan filter untuk membedakan cahaya cerenkov dengan cahaya yang berasal dari penerangan lampu, akibatnya cahaya cerenkov saja yang diperkuat.

Komponen-komponen penyusun CVD adalah : lensa objektif, filter ultraviolet, tabung penguat gambar, badan CVD dan *eyepiece*. Lensa objektif dirancang untuk mengumpulkan dan meneruskan cahaya ultraviolet secara efisien. Unjuk kerjanya ditentukan oleh ukuran panjang lensa, kapasitas pengumpul cahaya dan resolusi. Filter ultraviolet bertujuan untuk menyaring bahwa cahaya ultraviolet saja yang diteruskan sedang cahaya lainnya ditahan. Filter dengan diameter sebesar 25mm ditempatkan antara lensa objektif dan tabung penguat gambar. Tabung penguat gambar bertugas untuk mengubah photon menjadi photoelectron, memperkuat gambar electron dan mengubah kembali elektron menjadi cahaya yang dapat dilihat pada screen phosphor.³⁾

Penggunaan CVD di dalam kegiatan inspeksi safeguards adalah untuk menguji bahwa bahan bakar bekas yang dideklarasikan oleh operator adalah bahan bakar bekas asli bukan bahan bakar bekas yang dipalsukan. Inspeksi fisik tahunan (PIV) ke fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas dilaksanakan 1 kali dalam 1 tahun dengan jarak antar dua PIV tidak lebih dari 14 bulan. Sedangkan *Interim Inspection* dilaksanakan 4 kali dalam satu tahun.

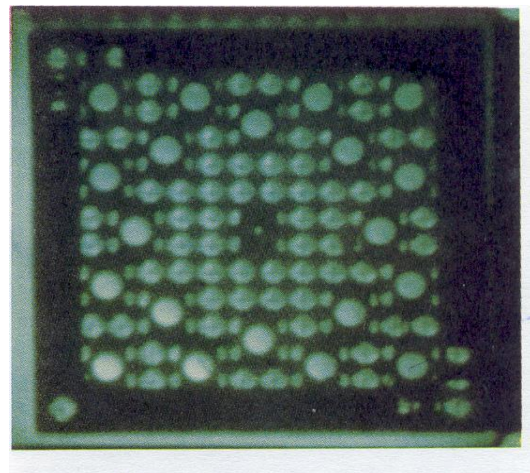
Sebelum pengujian bahan bakar bekas dilaksanakan beberapa informasi yang perlu diperhatikan adalah disain bahan bakar, disain rak penyimpanan, tingkat fraksi bakar, waktu pendinginan, ketersediaan jembatan diatas kolam, kondisi air termasuk kemurnian dan gelombang air karena pengaruh sirkulasi pendingan dan lampu penerangan pada rak penyimpanan.

Pengujian bahan bakar bekas pada saat PIV di riset reaktor lebih sederhana dibanding dengan pengujian bahan bakar bekas di reaktor daya. PIV di reaktor daya dilaksanakan segera setelah *refuelling* selesai dilaksanakan oleh operator. Pada kondisi tersebut kualitas air di kolam penyimpanan tidak terlalu bagus. Disamping itu ketinggian air di kolam reaktor masih pada level yang tinggi. Kedua faktor tersebut sangat mempengaruhi ketepatan pengujian bahan bakar bekas dengan CVD. Karena alasan tersebut PIV pada reaktor daya dilaksanakan dengan

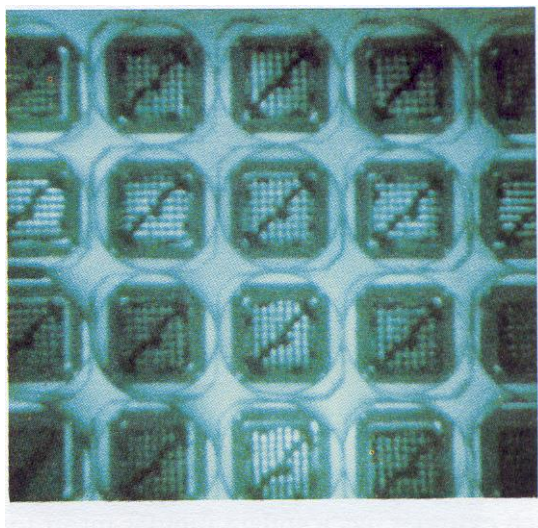
rentang waktu 3 bulan. Hal ini untuk memberikan kesempatan operator untuk memperbaiki kualitas air pendingin dan menurunkan ketinggian air kolam. Untuk memberikan jaminan bahwa tidak ada perpindahan bahan bakar dari teras reaktor ke rak penyimpanan bahan bakar bekas atau sebaliknya, *gate* antara kolam reaktor dan kolam penyimpanan harus disegel. *Continuity of knowledge* atas bahan bakar bekas dipertahankan dengan memasang kamera dengan pandangan menuju ke kolam bahan bakar bekas. PIV dianggap selesai apabila seluruh bahan bakar bekas yang berada di kolam penyimpanan telah diuji.

Apabila bahan bakar bekas yang diuji dalam jumlah yang cukup banyak, misalkan lebih dari 10000 perangkat (berlaku untuk fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas yang tidak menyatu dengan kolam reaktor), pelaksanaan pengujian memerlukan strategi. Seperti dijelaskan pada bab teori bahwa penerangan pada kolam penyimpanan bahan bakar bekas akan mengganggu cahaya cerenkov, maka pada saat pengujian semua lampu penerangan harus dipadamkan. Kondisi ini akan menyulitkan operator yang sedang bertugas. Sehingga jalan yang ditempuh adalah bahwa PIV dilaksanakan pada saat operator tidak bertugas biasanya dimulai tengah malam sampai dinihari karena pengujian dengan CVD harus dilaksanakan dengan serentak tidak boleh terputus-putus.

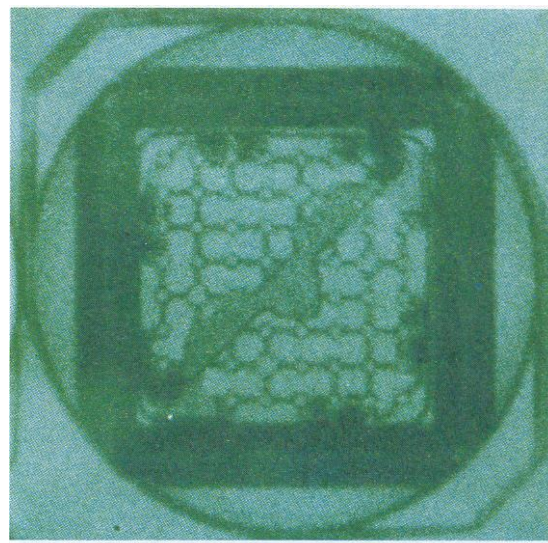
Meskipun pengujian bahan bakar bekas dengan CVD kadang-kadang memerlukan usaha *extra*, tetapi metoda ini tetap merupakan pilihan pertama mengingat metoda tak merusak yang lain akan mengganggu tugas operator. Gambar 8 – 11 berturut-turut menunjukkan bahan bakar bekas jenis PWR, BWR, bahan bakar segar PWR dan skeleton BWR dilihat dengan bantuan CVD.



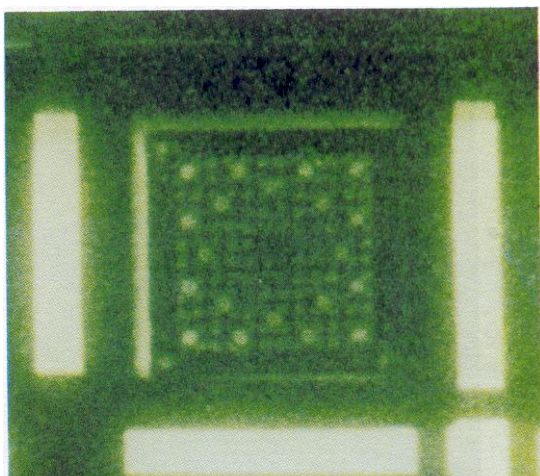
Gambar 8. Kenampakan bahan bakar PWR dilihat dengan CVD.⁴⁾



Gambar 9. Kenampakan bahan bakar BWR dilihat dengan CVD.⁴⁾



Gambar 11. Skeleton BWR dilihat dengan CVD.⁴⁾



Gambar 10. Bahan bakar segar jenis PWR dilihat dengan CV

PEMBAHASAN

Penggunaan CVD untuk menguji keberadaan bahan bakar bekas yang disimpan di dalam kolam penyimpanan merupakan metoda pengujian tak merusak yang pertama dipilih karena dapat dilakukan dengan cepat dan tak terlalu mengganggu tugas operator. Cahaya cerenkov akan jelas terdeteksi apabila bahan bakar yang disimpan masih panas (belum begitu lama dikeluarkan dari teras reaktor, 1- 2 tahun) dan mempunya fraksi bakar yang tinggi. Meskipun demikian kalau kualitas air pendingin buruk cahaya cerenkov tidak dapat dideteksi sama sekali, sehingga operator harus mempersiapkan persyaratan teknis sebelum PIV dilaksanakan. Kesiadaan jembatan yang bergerak diatas kolam penyimpanan juga harus tersedia. Tanpa jembatan yang dapat bergerak, pengujian bahan bakar bekas akan sulit dilaksanakan. Faktor lain adalah sirkulasi air yang terlalu kuat akan menimbulkan riak air dan mengakibatkan pengamatan menjadi kurang fokus. Bahan bakar bekas yang sudah terlalu tua (terlalu lama didinginkan) memancarkan cahaya cerenkov dengan intensitas rendah. Bahan bakar bekas yang sudah tua tersebut biasanya disimpan dalam kolam penyimpanan yang tidak menyatu dengan kolam reaktor yaitu disimpan di fasilitas khusus penyimpanan bahan bakar bekas. Kalau dimungkinkan, bahan bakar bekas umur tua dikelompokkan menjadi satu kemudian disegel. Sehingga untuk pengujian berikutnya hanya segelnya saja yang diverifikasi tidak perlu dilakukan pengujian ulang dengan CVD. Kemungkinan bahwa operator menyelewengkan bahan bakar bekas yaitu dengan menggantinya dengan *dummy* atau bahan bakar segar perlu diantisipasi. Pemalsuan tersebut

dapat terdeteksi karena bahan bakar palsu tidak mengeluarkan cahaya cerenkov. Kesulitannya adalah kalau bahan bakar tersebut diletakkan diantara bahan bakar bekas yang masih panas, maka perlu ketelitian dalam melaksanakan pengujian. Pengetahuan, pengalaman dan keterampilan menggunakan alat CVD sangat dibutuhkan. Untuk bahan bakar di reaktor riset yang sudah terlalu tua dimana intensitas cahaya cerenkov sudah sangat lemah, pengujian bahan bakar bekas dilakukan dengan alat lain.

KESIMPULAN

Keberhasilan pengujian bahan bakar bekas dengan CVD tergantung dari berbagai macam faktor. Faktor tersebut dapat berasal dari

1. kondisi bahan bakar bekas itu sendiri sebagai contoh adalah waktu pendinginan, fraksi bakar)
 2. kondisi lingkungan, sebagai contoh adalah kualitas air, lampu penerangan
 3. kemampuan inspektur : pengetahuan, pengalaman dan keterampilan menggunakan alat
- Ketiga faktor tersebut saling terkait. Analisis terhadap keuntungan dan keterbatasan penggunaan

CVD dibutuhkan sehingga dapat dicapai tujuan *safeguards* yaitu suatu keyakinan bahwa pihak fasilitas memenuhi/ tidak memenuhi perjanjian *safeguards*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Quickenden, T.I and J.A. Irvin, „The Ultraviolet Absorption Spectrum of Liquid Water“, J. Chem .Phys. 1980
2. Rolandson, S „, Determination of Cerenkov Light Intensities from Irradiated BWR Fuel“, Swedish Nuclear Nuclear Power Inspectorate (SKI), 1994
3. Chen, J.D., E.M. Attas, G.J. Young, L. Hildingsson and J. Braunesen, „, Cerenkov Viewing Device: Recent Developments and the Implication for Spent Fuel Verification“ Annual ESARDA Meeting, Aachen, Germany 1995.
4. IAEA „, ICVD Cerenkov Verification of LWR Spent Fuel“, Safeguards material Measurement Procedure, 1990.