

SAMPEL USAP LINGKUNGAN SEBAGAI ALAT DETEKSI CANGGIH DAN EFEKTIF UNTUK MENGUNGKAP BAHAN/AKTIVITAS NUKLIR YANG DISEMBUNYIKAN

Endang Susilowati

ABSTRAK

SAMPEL USAP LINGKUNGAN SEBAGAI ALAT DETEKSI CANGGIH DAN EFEKTIF UNTUK MENGUNGKAP BAHAN/ AKTIVITAS NUKLIR YANG DISEMBUNYIKAN. Sampel usap lingkungan merupakan salah satu tindakan safeguards IAEA yang sangat efektif dan canggih untuk mendeteksi keberadaan bahan/ aktivitas nuklir baik yang dideklarasikan maupun yang mungkin tidak dideklarasikan. Sehingga kepatuhan suatu negara terhadap perjanjian safeguards yang telah disetujui dapat dievaluasi. Sampel yang berupa debu dapat diperoleh dengan mengusapnya dengan *cotton* usap. Partikel yang menempel pada *cotton* dianalisa dan dievaluasi untuk mendeteksi kemungkinan adanya bahan/ aktivitas nuklir yang tidak dideklarasikan. Tulisan ini membahas/ mengintroduksi metoda sampel usap lingkungan yang meliputi prosedur pengambilan sampel, analisa dan evaluasi yang digunakan untuk mengungkap kemungkinan adanya bahan/ aktivitas nuklir yang disembunyikan di suatu negara. Dengan menerapkan prosedur dan persyaratan jaminan kualitas yang ketat dapat dihindari kontaminasi silang yang pada tahap lanjut dapat memberikan kesimpulan yang tidak benar. Metoda sampel usap lingkungan disertai dengan teknik analisis yang sangat maju dapat mengungkap keberadaan fasilitas pengkayaan uranium, fasilitas olah ulang dan fasilitas nuklir lainnya.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL SAMPLING AS A POWERFUL AND EFFECTIVE DETECTION TOOL TO DISCLOSE THE ABSENCE OF NUCLEAR MATERIAL/ ACTIVITIES. *Environmental sampling constitutes as a powerful and effective safeguards measure implemented by the IAEA to detect the existence of nuclear material and activities in certain countries then its compliance to a safeguards agreement can be evaluated. Swipe samples were collected at the vicinity of nuclear facility by swiping dust using cotton swipe. Particulate migrate to the cotton swipes were analyzed and evaluated in order to investigate the absence of nuclear material or activities. This paper is aimed to introduce the environmental sampling techniques consisting of procedure to handle a sample taking as well as a range of methods to analyze and evaluate swipe samples. Samples taking were carried out following a special procedure and tight quality assurance programme to avoid cross contamination which would lead to faulty conclusions. Environmental sampling techniques combined with high sensitivity and accuracy is able to disclose the absence of strategic and sensitive nuclear facilities such as enrichment and reprocessing facilities*

PENDAHULUAN

Di dalam proses produksi suatu industri kimia, industri nuklir maupun industri-industri lainnya, kehilangan sebahagian kecil material yang sedang di proses ke lingkungan sekitar akan selalu dialami. Sifat kehilangan tersebut tergantung dari berbagai macam faktor termasuk diantaranya sifat dari proses produksi, bahan yang di proses, tindakan untuk mengendalikan untuk membatasi kehilangan dan perpindahan bahan ke lingkungan sekitar. Khususnya proses produksi bahan nuklir, kehilangan bahan nuklir yang sedang diproses ke lingkungan sekitar akan terjadi juga meskipun tindakan pencegahan telah dilakukan dengan sangat hati-hati. Bahan nuklir yang hilang dapat berbentuk gas, partikel atau aerosol ataupun bentuk padat dan cair. Lebih lanjut setiap bahan nuklir mempunyai sifat-sifat radioaktif yang spesifik. Sifat ini memungkinkannya untuk mendeteksi bahan nuklir yang hilang meskipun dalam tataran yang sangat kecil (10^{-12} gram U atau Pu).

Teknik analisis yang sangat maju untuk mendeteksi keberadaan bahan nuklir dalam tataran yang sangat kecil telah dikembangkan yang selanjutnya dapat memberikan informasi yang berkaitan dengan proses produksi untuk menghasilkan bahan nuklir tersebut. Teknik analisis ini adalah teknik sampel lingkungan yang merupakan perangkat analisis yang sangat handal untuk mendeteksi kemungkinan adanya bahan/fasilitas nuklir yang disembunyikan.

Keunggulan metoda sampel lingkungan untuk mendeteksi adanya bahan/fasilitas nuklir yang disembunyikan/ tidak dideklarasikan oleh suatu negara dapat direalisasi dengan menerapkan persyaratan jaminan kualitas yang ketat pada beberapa tahapan kegiatan dimulai sejak perencanaan yang matang diikuti dengan pelaksanaan pengambilan sampel, penanganan dan analisis sampel serta evaluasi data.

Informasi yang dibutuhkan untuk memilih lokasi yang akan diusap adalah denah fasilitas, denah proses area dan gedung bantu. Sumber utama informasi adalah *Design Information Questionnaire*. Disyaratkan bahwa operator menginformasikan keberadaan bahan nuklir dan aktivitas yang dilakukan disetiap gedung dimana inspektur mempunyai akses. Foto dan gambar peralatan akan sangat membantu untuk menyeleksi tempat yang cocok untuk mengusap sampel. Dalam hal *hot cell/ glove box* perlu diketahui juga bahan fisil yang ada dan tingkat radioaktivitasnya dengan maksud untuk memberikan kewaspadaan dalam penanganan sampel. *Baseline signature* adalah aktivitas pengambilan sampel di suatu fasilitas nuklir pada waktu awal yang dapat dipakai sebagai acuan dalam mengevaluasi data usap yang secara rutin dilaksanakan.

Operator yang bermaksud menyelesaikan aktivitas produksi bahan nuklir pasti berusaha agar bahan nuklir tersebut tidak diketahui oleh inspektur. Hal ini ditempuh dengan beberapa cara yaitu dengan mengisolasi bahan nuklir atau membersihkan tempat dan peralatan dengan maksud untuk meninggalkan jejak. Metoda sampel usap akan dengan mudah mendeteksi tindakan ilegal dari operator tersebut, karena :

- Jumlah material yang diproses adalah dalam orde beberapa kg, sedangkan jumlah yang dapat dideteksi adalah kira-kira 10^{-12} gr. Pembersihan lokasi dan peralatan akan selalu meninggalkan *traces* meskipun dalam orde yang sangat kecil yang mana dengan menggunakan sampel usap *tracs* tersebut masih dapat dideteksi.
- Proses produksi bahan nuklir akan melibatkan beberapa pekerja yang berpotensi untuk bersinggungan/ berkontak dengan bahan yang diproses. Akan sangat sulit untuk menangani dan membuang pakaian kerja dan peralatan tanpa penyebaran/ kontaminasi ke tempat proses ataupun tempat umum/ tempat yang tidak mempunyai fungsi khusus.

- Kegiatan ilegal yang tidak secara rutin dilakukan secara moral akan menciptakan kondisi yang tidak nyaman/ *in conflict* yang pada tahap lanjut berpotensi untuk membuat kesalahan diantaranya adalah secara tidak sengaja menyebarkan bahan nuklir yang sedang diproses. Material ini pada akhirnya akan menyebar ke lingkungan yang mana penyebaran ini akan dapat dideteksi menggunakan metode sampel usap.

Keakuratan yang tinggi dari metoda analisis sampel usap digabung dengan kesulitan yang dihadapi operator dalam melaksanakan kegiatan ilegal akan memberikan suatu terapi pencegahan secara dini.

Tulisan ini membahas tentang teknik sampel usap lingkungan yang digunakan oleh *safeguards* IAEA di dalam mendeteksi keberadaan bahan nuklir yang kemungkinan tidak dideklarasikan oleh pihak fasilitas. Pembahasan mencakup persyaratan jaminan kualitas pengambilan sampel usap, analisis sampel usap serta evaluasi data.

TATA CARA PENGAMBILAN SAMPEL USAP

Sampel usap diambil dari dalam fasilitas baik dari daerah proses maupun ruangan yang secara umum digunakan oleh pekerja. Lokasi pengambilan dari daerah proses dipilih dengan maksud untuk mendapat indikasi yang kuat tentang keberadaan nuklida yang ada, berawal dari pintu masuk sampai ke hot cell bila ada. Pengambilan sampel usap harus mentaati prosedur yang telah ditetapkan agar tidak terjadi kontaminasi. Proses terjadinya kontaminasi dapat melalui beberapa cara. Sumber-sumber kontaminasi utama berasal dari :

- Bahan nuklir yang telah ada pada media *cotton* usap sebelum pengambilan sampel dilaksanakan. IAEA menggunakan media sampel yang bebas dari U/ Pu/ produk fisi

dan telah disertifikasi oleh laboratorium yang diakui.

- Partikel U/ Pu yang dipindahkan dari personil pelaksana ke *cotton* usap. Untuk meminimalkan efek ini pengambilan sampel dilakukan oleh 2 orang yang mana masing-masing bertindak sebagai orang bersih dan orang kotor. Masing-masing memakai sarung tangan yang steril. Sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik kecil. Kantong plastik kecil dimasukkan ke dalam kantong plastik besar. Pengambilan sampel dilakukan orang kotor yang bertugas untuk mengambil sampel dengan cara mengusapkan *cotton* usap ke tempat yang telah ditentukan. *Cotton* usap kemudian dimasukkan ke dalam plastik yang telah disediakan oleh orang bersih. Plastik yang berisi *cotton* usap kemudian dimasukkan ke dalam plastik kedua dengan ukuran yang lebih besar yang berfungsi sebagai pelindung kedua.

- Kontaminasi dapat terjadi saat penanganan sampel pasca inspeksi seperti pada saat pengiriman dan saat penerimaan di laboratorium. Unjuk kerja laboratorium harus dapat menjamin bahwa sampel ditangani secara benar mengacu kepada program jaminan kualitas yang ketat.

Pemilihan lokasi pengambilan sampel usap diusahakan sedekat mungkin dengan titik-titik penyebaran berdasar kepada evaluasi dari skenario penyelewengan.

Prosedur pengambilan sampel :

- Perangkat sampel usap disiapkan di ruang yang bersih dari kontaminasi di Seibersdorf Clean Laboratory (SAL), Austria.
- Sampel usap yang dipilih dari *batch* secara acak diukur dengan metoda *bulk* dengan TMS di *clean laboratory* dan dengan analisa partikel di *Network Analytical Laboratory (NWAL)* dengan tujuan untuk mensertifikasi bahwa *batch* telah sesuai dengan spesifikasi.
- Sampel usap hanya boleh diambil oleh inspektur yang telah di training.
- Untuk meminimalkan efek kontaminasi, pengambilan sampel dilakukan oleh 2 orang

yang mana masing-masing bertindak sebagai orang bersih dan orang kotor. Masing-masing memakai sarung tangan yang steril. Sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik kecil. Kantong plastik kecil dimasukkan ke dalam kantong plastik besar. Pengambilan sampel dilakukan orang kotor yang bertugas untuk mengambil sampel dengan cara mengusapkan *cotton* usap ke tempat yang telah ditentukan. *Cotton* usap kemudian dimasukkan ke dalam plastik yang telah disediakan oleh orang bersih. Plastik yang berisi *cotton* usap kemudian dimasukkan ke dalam plastik kedua dengan ukuran yang lebih besar yang berfungsi sebagai pelindung kedua.

- Sub sampel dimasukkan di dalam kantong plastik steril yang lebih besar. Sampel yang dikirim ke NWAL tidak boleh dibuka sebelum sampel sampai ke laboratorium tujuan.
- Semua sampel harus diseleksi dahulu di SAL/ CL sebelum penanganan lanjut. Sampel dengan kontaminasi tinggi harus di proses di SAL.
- Paling sedikit satu sub-sampel dari satu sampel harus dipertahankan tidak boleh dibuka dan disimpan sebagai arsip untuk mengantisipasi jika di kemudian hari terjadi anomali.

Semua NWAL harus menangani sampel sesuai dengan jaminan mutu yang disyaratkan

Teknik Analisa Sampel Usap

- Teknik analisa sampel usap dilaksanakan dalam 2 tahap yaitu :
- Seleksi awal sampel dan Analisa sampel secara rinci

Seleksi Awal Sampel

Seleksi awal sampel dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dari sampel sehingga dapat ditentukan jenis analisis yang tepat yang dibutuhkan dalam menganalisa sampel secara rinci serta dapat ditentukan laboratorium yang cocok untuk melakukan analisis. Semua sampel usap dikirim ke *Laboratorium di Seibersdorf*

(SAL) dan ke *Clean Laboratory (CL)*. Seleksi awal dilaksanakan di kedua laboratorium tersebut segera setelah sampel datang dari fasilitas nuklir Jenis analisa dan laboratorium yang dipilih tergantung dari kandungan isotop yang diperkirakan ada di dalam sampel serta tingkat konsentrasinya. Dengan teknik yang sangat sensitif diharapkan dapat terdeteksi unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel meskipun dalam konsentrasi yang rendah. Tingkat radioaktivitas masing-masing sampel harus diukur untuk menghindari kemungkinan kontaminasi di tempat kerja. Sampel usap dari fasilitas nuklir kemungkinan terkena kontaminasi sehingga perlu ditangani di laboratorium yang mempunyai sertifikat untuk menangani zat radioaktif. Semua sampel usap yang berasal dari hot sel termasuk dalam kategori ini, demikian juga sampel usap yang berasal dari bagian luar hot cell dan glove box. Sampel yang memancarkan sinar γ atau diperkirakan mempunyai aktivitas α / β diseleksi di SAL.

Sedangkan sampel usap yang tingkat radiasinya setara dengan lingkungan diseleksi di CL.

Metoda yang digunakan adalah :

- Spectrometri gamma
- Pencacahan α / β
- Spectrometri hamburan sinar X
- *Scanning electron microscopy*

Setelah diseleksi sampel dikirim ke jaringan laboratorium IAEA atau dapat tetap tinggal di SAL untuk analisis rinci. Analisis rinci melibatkan perlakuan fisika/ kimia untuk mengekstrak unsur-unsur penting.

Radiasi gamma dari sampel usap dapat diukur tanpa membuka tas plastik. Batas pendeteksian sekitar 1 mBq/ sampel. Sampel yang berasal dari *hot cell*, *glove box* dan sampel dari daerah proses akan memberikan indikasi yang sangat jelas. Sampel yang mempunyai aktivitas $\gamma < 1$ mBq di tangani di *Clean Laboratory*.

Spektrometri Gamma

Isotop pemancar gamma dihasilkan dari tempat/ lokasi dimana penanganan bahan bakar bekas dilaksanakan, lokasi produksi isotop (^{99}Mo), lokasi penelitian dan pengembangan. Isotop yang terdapat di setiap fasilitas akan berbeda meskipun akan terdapat isotop produk fisi yang sama yaitu : ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{137}Cs serta isotop produk aktivasi yang sama yaitu ^{57}Mn , ^{60}Co dan ^{137}Cs . Perbandingan dari beberapa produk fisi dapat memberikan informasi tentang fraksi bakar dan lamanya waktu luruh setelah iradiasi. Keberadaan radioisotop umur pendek merupakan suatu indikasi adanya aktivitas iradiasi yang baru saja berlangsung.

Pencacahan Alpha/ Beta

Isotope pemancar α pada umumnya terdapat pada grup aktinida (Th, U, Pu dan Am). Sebahagian unsur dari grup aktinida juga pemancar β (Pu^{241}). Pemancar β yang lain terdapat pada produk fisi dan produk aktivasi di dalam bahan bakar bekas (^3H , ^{90}Sr , $^{99\text{m}}\text{Tc}$). Informasi dari hasil pencacahan alpha/ beta digunakan untuk tujuan proteksi radiasi dalam penanganan sampel.

Tindakan pencacahan alpha/ beta ini dapat mengakibatkan kontaminasi karena sampel terpaksa harus dikeluarkan dari kantong plastik. Sampel yang berasal dari fasilitas pengkayaan uranium dengan aktivitas gamma rendah biasanya mempunyai aktivitas α dan β rendah sehingga pencacahannya dapat dilakukan di CL, Seibersdorf. Sampel dengan aktivitas γ tinggi dicacah di SAL.

Sampel dari Hotcell/Glove Box dengan pancaran Gamma aktif dan tak aktif

Pengukuran aktivitas alpha/ beta dari sampel gamma aktif dilaksanakan di SAL dengan alat monitor Contamat. Apabila dikehendaki pengukuran yang lebih akurat alat yang digunakan adalah Liquid Scintillation Counter (LSC). LSC dapat membedakan antara sinyal alpha dan sinyal beta. Batas deteksi alat jenis ini adalah < 1

Bq/ subsampel. Sedang pengukuran pancaran gamma yang tak aktif dilaksanakan di CL.

Spektrometri hamburan sinar X

Keberadaan unsur U, Pu di media sampel usap memberikan informasi yang dapat dipakai untuk memilih metoda yang tepat untuk analisis lanjut.

Spektrometri hamburan sinar X adalah metoda tak merusak untuk mengukur keberadaan U dan Pu di media sampel usap. Detektor yang digunakan adalah Si(Li) dan ^{109}Cd sebagai sumber pengekstasi. Pancaran photon γ dari ^{109}Cd berinteraksi dengan materi di dalam sampel mengakibatkan timbulnya sinar X dari dalam sampel. Proses ini berlangsung ketika sampel usap masih berada di dalam kantong plastik sehingga keutuhan sampel tetap terjaga. Batas pengukuran unsur berat U dan Pu adalah $1 \mu\text{gr}/\text{cm}^2$.

Scanning Electron Microscopy

Didalam melaksanakan metoda ini, sampel usap harus dikeluarkan dari kantong plastik karena unsur-unsur yang berada di dalam sampel harus dilarutkan ke dalam suatu larutan organik. Larutan digetarkan menggunakan tabung ultrasonik dengan tujuan untuk memindahkan partikel partikel dalam sampel usap ke larutan.. Larutan kemudian di pipet, diletakkan dalam piringan kecil kemudian dikeringkan. Partikel pada permukaan piringan kecil dianalisis menggunakan mikroskop elektron dengan pembesaran 500 – 1000 kali. Metoda ini sangat sensitif terhadap unsur U dan Pu.karena keberadaannya mudah diidentifikasi. Ketika partikel teridentifikasi, sinar elektron pada mikroskop difokuskan ke partikel tersebut dan mengakibatkan sinar X terpancar. Keberadaan sinar X dideteksi dengan detektor Si(Li). Dengan menggunakan multi channel analyser, puncak energi dari partikel- partikel utama dapat diidentifikasi. Hampir semua unsur yang ada di tabel periodik dapat dideteksi kecuali

unsur-unsur sangat ringan seperti H, He dan Li.

Hasil seleksi awal dipakai sebagai acuan untuk menentukan analisis lanjut yang lebih rinci. Yaitu berdasar kepada jenis isotop yang ada di dalam sampel usap.

Setelah diseleksi, sampel kemudian dikirim ke laboratorium yang telah terdaftar pada jaringan laboratorium IAEA untuk dianalisis lebih rinci. Tahapan ini termasuk perlakuan kimia/ fisika untuk mengekstrak unsur-unsur yang penting.

Analisa sampel secara rinci

Beberapa Metoda Analisa Sampel Usap :

High Resolution Gamma Spectrometry (HRGS)

Metoda ini menggunakan detektor Germanium (Ge) kemurnian tinggi. Sample usap dibiarkan berkontak dengan Ge detektor yang dikelilingi oleh perisai aktif dan pasif. Perisai aktif terdiri atas NaI(Tl) penutup detektor yang berfungsi untuk memperkecil efek Compton dan radiasi lingkungan dan radiasi kosmik. Perisai pasif terdiri atas Pb, Cu dan Cd. Waktu pencacahan tergantung dari tingkat aktivitas dari sampel, biasanya berkisar 1 – 24 jam. Hasil pencacahan dianalisis oleh menggunakan perangkat lunak dan diawasi oleh seorang tenaga ahli yang ditunjuk oleh IAEA. Dari hasil analisa didapat besarnya aktivitas gamma yang dipancarkan oleh sampel. Besar/ kecilnya aktivitas γ tergantung dari besar/ kecilnya konsentrasi unsur yang terdapat di dalam sampel. Selain itu dapat diketahui juga perbandingan isotop Cs^{134}/Cs^{137} yang mengindikasikan tingkat fraksi bakar dari sampel yang diuji. Perbandingan Am^{241}/Pu^{241} menunjukkan umur Pu sejak dimurnikan. Spektrum gamma dari sampel usap menginformasikan jenis unsur yang ada pada media yang diusap. Metoda ini sangat sensitif untuk mendeteksi kemungkinan adanya bahan nuklir yang disembunyikan atau adanya proses pemisahan Pu.

Thermal Ionization Mass Spectrometry (TIMS)

Di dalam analisa ini sampel dilarutkan dengan HNO_3 atau $HClO_4$ dan dipisahkan secara kimia dengan metoda chromatografi untuk mendapatkan larutan U/ Pu yang murni. Untuk keperluan pengukuran dengan TIMS larutan perlu ditempelkan di filamen Re. Dalam kondisi hampa, filament Re dipanaskan $1500 - 1800^\circ C$ sehingga didapatkan ion U/Pu yang dapat dipisahkan karena perbedaan massanya. Detektor Faraday berfungsi untuk mendeteksi ion U/Pu yang terbentuk. Hasil dari metoda ini adalah perbandingan semua isotop-isotop yang ada dengan isotop standart sebagai isotop pembandingan.

Hasil analisa TIMS dibutuhkan untuk memperkirakan tingkat fraksi bakar dari elemen bakar bekas dan tingkat pengkayaannya. Keberadaan ^{236}U merupakan indikasi adanya iradiasi U alam atau U diperkaya. Isotop ^{239}Pu , ^{240}Pu dan ^{241}Pu menunjukkan indikasi tingkat fraksi bakar dan maksud penggunaan dari isotop tersebut. Keberadaan ^{238}Pu merupakan indikasi spektrum energi neutron di teras reaktor dimana unsur tersebut terbentuk di reaktor. Peluruhan ^{241}Pu ke ^{241}Am dan juga isotop Pu yang lain memberikan indikasi umur Pu yang dimurnikan.

Ion Microprobe Mass Spectrometry

Analisis dengan metoda ini akan memberikan informasi tentang jumlah, ukuran dan komposisi partikel yang terkandung pada U atau Pu. Penyiapan sampelnya sama dengan penyiapan sampel untuk analisis SEM. Pada kondisi ke hampaan yang tinggi partikel dari sampel usap ditembak dengan sinar pengion sehingga menghasilkan ion sekunder. Ion sekunder dipisahkan dan dideteksi dengan spektrometer massa yang dilengkapi dengan detektor dengan sensitivitas yang sangat tinggi. Meskipun demikian resolusi dari detektor ini lebih rendah dibandingkan dengan SEM.

Analisa Partikel

Analisa partikel mampu mendeteksi dan menganalisa partikel dengan diameter 0,1 – 10 mikrometer. Partikel dipindahkan dari media usap dengan cara membentuknya menjadi abu pada suhu rendah kemudian abu partikel didistribusikan pada lapisan collodion (nitrosellulose). Lapisan sellulose selanjutnya diiradiasi di reaktor dengan tujuan untuk mendapatkan produk fisi yang berasal dari partikel yang mengandung U/ Pu. Setiap reaksi fisi akan meninggalkan jejak yaitu suatu garis di lapisan sellulose yang dapat diamati dengan mikroskop. Banyaknya garis yang terbentuk menandakan besar/kecilnya tingkat pengkayaan. Analisis lanjut adalah dengan memotong lapisan collodion dan menempatkan potongan tersebut pada media grafit untuk pengukuran komposisi kimia dengan SEM. Untuk keperluan analisa isotop, potongan lapisan collodion dilapiskan ke filamen Re, selanjutnya dilakukan pengukuran dengan TIMS.

Hasil suatu sampel usap tergantung dari kesensitifan metoda analisa yang digunakan untuk mendeteksi partikel uranium, plutonium dan unsur lain dalam orde yang sangat kecil dan dapat memberikan informasi tentang bahan/ fasilitas nuklir yang ada atau ada tapi disembunyikan

Untuk fasilitas pengkayaan uranium, sampel usap diambil dari daerah proses dan untuk fasilitas reaktor dari dalam gedung reaktor dengan maksud untuk mendapatkan indikasi yang kuat keberadaan suatu bahan nuklir.

Disamping itu sampel usap juga diambil dari tempat umum (tempat yang tidak mempunyai fungsi yang khusus) untuk mendeteksi bila ada debu/ partikel yang sangat kecil yang terhambur dan menempel di pemipaan/ lantai.

Untuk melakukan sampel usap di fasilitas pengkayaan uranium kewaspadaan kemungkinan adanya produksi HEU harus ditingkatkan. Dalam hal ini yang perlu dimengerti adalah informasi tentang ukuran *cascade* dan skenario penyelewengan.

Skenario akan melibatkan proses pengkayaan yang dilakukan di dalam satu unit *cascade* dan menggunakan peralatan *portable* dimana beberapa ratus kilogram produk setengah jadi UF_6 (5-50%) akan digunakan untuk membuat 1SQ HEU (25 kg dalam bentuk 90% ^{235}U). Produk setengah jadi dan produk akhir diharapkan akan melepaskan material dalam tataran yang sangat kecil tetapi masih mudah untuk

Sejumlah laboratorium dari beberapa negara ikut berkontribusi di dalam menganalisis sampel lingkungan yang dikumpulkan dari fasilitas/ instalasi nuklir. Laboratorium tersebut berada di USA, Rusia, Inggris, Finlandia, Hungaria dan Canada, Eropa dan Australia. Laboratorium milik IAEA yang berkontribusi adalah Laboratorium Kelautan yang ada di Monaco, laboratorium hidrologi di Wina-Austria dan Laboratorium Safeguards di Seibersdorf-Austria.

Hasil Analisis Sampel Usap dan Pengamatan

Operasi reaktor daya yang berlokasi di dekat laut dapat dideteksi dengan keberadaan produk aktivasi/ produk fisi di dalam limbah cair yang dihasilkan sampai sejauh sekitar 20 km dari pusat pembuangan. Reaktor daya yang berlokasi di sepanjang sungai memberikan indikasi keberadaan produk fisi atau produk aktivasi yang sedikit lemah.

Operasi reaktor riset akan membebaskan berbagai macam isotop dan elemen ke lingkungan sekitar. Keberadaan produk fisi 3H dapat dideteksi beberapa km dari fasilitas. Fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir yang menggunakan uranium diperkaya akan membaurkan keberadaan bahan nuklir ke lingkungan luar beberapa km dari pusat pengeluaran.

Fasilitas pengkayaan uranium dapat dideteksi dari jarak beberapa km dari fasilitas tergantung dari sejarah pengoperasian, tingkat pengkayaan dan kapasitas pengeluaran/produksi. Analisa sampel (yang diusap dari daerah umum sebagai contoh adalah

ruang ganti dan ruang kantor) bersama-sama dengan analisa partikel dapat memberikan gambaran yang lengkap tentang tingkat pengkayaan yang dicapai oleh suatu fasilitas.

Keberadaan fasilitas olah ulang yang besar dapat dideteksi dari jarak sekitar puluhan km dengan cara mengukur produk fisi I^{129} yang mudah menguap. Sampel usap yang diambil dari luar daerah proses dapat memberikan informasi yang jelas tentang tingkat pengkayaan dan tingkat fraksi bakar dari bahan nuklir yang sedang diproses.

Analisis sampel lingkungan yang dikumpulkan disekitar instalasi nuklir memberikan indikasi yang sangat meyakinkan keberadaan bahan nuklir di instalasi tersebut. Ketaatan mentaati prosedur dalam pelaksanaan pengambilan dan penganalisaan sampel akan mencegah terjadinya kontaminasi silang yang dapat memberikan hasil analisa yang tidak akurat. Bukti keberadaan suatu fasilitas nuklir dan jenis kegiatan utama yang dilaksanakan (pengkayaan, reprocessing, reaktor daya/riset) akan dapat diidentifikasi. Kemampuan untuk mengidentifikasi kegiatan tersebut berkurang dengan semakin jauhnya fasilitas dan tempat penyampelan.

KESIMPULAN

Hasil analisis sampel lingkungan yang diambil dari beberapa fasilitas nuklir dapat memberikan keyakinan berkaitan dengan ada tidaknya bahan/fasilitas nuklir yang disembunyikan oleh operator. Pengambilan sampel yang dilakukan sesuai dengan prosedur secara efektif dapat

mencegah kontaminasi silang. Kontaminasi silang dapat menimbulkan kesalahan di dalam menarik suatu kesimpulan tentang ada tidaknya bahan/fasilitas nuklir yang disembunyikan oleh operator. Sampel yang berasal dari area di sekitar instalasi dapat memberikan indikasi yang kuat akan adanya aktifitas nuklir yang sedang dilaksanakan ataupun aktifitas nuklir yang telah dilaksanakan. Kemampuan untuk mengidentifikasi keberadaan bahan nuklir akan bertambah dengan berkurangnya jarak antara titik pengambilan dan fasilitas nuklir.

Sampel yang dikumpulkan dari dalam gedung operasi atau sangat dekat dengan fasilitas gedung akan memberikan informasi yang meyakinkan perihal proses/ aktivitas bahan nuklir yang sedang dilaksanakan dan yang pernah dijalankan

DAFTAR PUSTAKA

1. D. Fisher "Environmental Sampling for Safeguards" Training Course on Environmental Sampling, held at IAEA Safeguards Analytical Laboratory Seibersdorf 2 001.
2. D. Fisher "Planning a Swipe Sampling", Training Course on Environmental Sampling, Training Course on Environmental Sampling, held at IAEA Safeguards Analytical Laboratory Seibersdorf 2 001 held at IAEA Safeguards Analytical
3. Stephan Vogt, Analytical Method Laboratory Seibersdorf 2 001.