

ANALISIS SISTEM PENGAMANAN DAN PENGAWASAN BAHAN NUKLIR BERBASIS PENGUKURAN

Ign. Djoko Irianto
Pusat Teknologi Pengamanan Bahan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS SISTEM PENGAMANAN DAN PENGAWASAN BAHAN NUKLIR BERBASIS PENGUKURAN. Pengamanan dan pengawasan bahan nuklir merupakan aspek penting dalam pengelolaan fasilitas nuklir karena bahan nuklir dapat menjadi obyek terorisme. Dua aspek pengamanan dan atau pengawasan bahan nuklir meliputi Sistem Pertanggung jawaban Bahan Nuklir (SPPBN) atau Safeguards System dan sistem proteksi fisik fasilitas dan bahan nuklir. SPPBN dapat menghasilkan laporan tentang keberadaan dan jumlah serta berat bahan nuklir pada fasilitas nuklir tertentu. Untuk pelaksanaan SPPBN diperlukan data bahan nuklir baik secara kuantitas maupun kualitas. Data kualitas ataupun kuantitas bahan nuklir dapat diperoleh dengan teknik destructive analysis (DA) maupun non destructive analysis (NOA). Teknik DA digunakan untuk menganalisis bahan nuklir berbentuk serbuk dan teknik NOA digunakan untuk menganalisis bahan nuklir berbentuk spent fuel. Di BATAN, pengukuran berat yaitu melalui penimbangan masih lebih dominan dibandingkan dengan teknik lain untuk sistem pengamanan dan pengawasan bahan nuklir.

ABSTRACT

NUCLEAR MATERIAL SAFEGUARDS AND SECURITY SYSTEM ANALYSIS BASED ON MEASUREMENT. Nuclear material safeguards and security are the important aspect in the nuclear facility management due to the nuclear material could be terrorisms object. The two aspect of nuclear material security are nuclear material safeguards system and physical protection system. The most important in safeguards system is how to report the existence of nuclear material and the quantity of nuclear material. To perform the safeguards system the data of nuclear material are needed. The data of quality and quantity of nuclear material could be found by destructive analysis (DA) technique and non destructive analysis (NOA) technique. The DA technique are used to analysis the nuclear material that forming in powder, the NOA technique are used to analysis the nuclear material in spent fuel. In BATAN, the technique of measurement of nuclear material weight is more dominant than the other technique to be used in nuclear material safeguards and security systems.

1. PENDAHULUAN

Masalah pengamanan bahan nuklir dalam pengelolaan fasilitas nuklir mempunyai aspek yang sangat luas dan sangat strategis sebagai landasan pengembangan teknologi nuklir di manapun baik dari aspek teknologi maupun aspek politis. Di sisi lain, masalah pengamanan bahan nuklir mempunyai kaitan yang cukup erat baik secara langsung maupun tidak langsung dengan keselamatan fasilitas nuklir. Terlebih lagi dalam situasi dunia dewasa ini di mana banyak kegiatan terorisme yang mengancam dunia. Komunitas internasional, termasuk pemerintah Indonesia, bersepakat untuk memerangi segala macam bentuk terorisme. Bahan

nuklir merupakan salah satu bahan yang dapat disalah-gunakan untuk kepentingan non damai sehingga rentan untuk disalahgunakan oleh para teroris. Dalam hal pengelolaan bahan nuklir sebenarnya masalah pengamanan dan keselamatan tak dapat dipisahkan secara tegas karena keduanya saling terkait.

Pengamanan bahan nuklir meliputi Sistem Pengendalian dan Pertanggung-jawaban Bahan Nuklir (SPPBN), atau secara populer dikenal dengan istilah Akuntansi Bahan Nuklir (*safeguards*) dan Sistem Proteksi Fisik (*physical protection system*). Kedua-duanya merupakan bagian penting dalam pengelolaan fasilitas nuklir. Sistem

akuntansi bahan nuklir dapat memberikan laporan dengan akurat, tepat dan cepat tentang keberadaan dan jumlah bahan nuklir. Sistem ini dapat dilaksanakan apabila didukung oleh sumber daya manusia yang memadai serta peralatan penganalisa yang cukup. Walaupun perkembangan teknologi pengamanan bahan nuklir relatif lambat atau stagnan dibandingkan dengan perkembangan teknologi nuklir yang lain namun perkembangannya harus selalu diikuti mengingat peralatan yang digunakan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency* – IAEA) juga semakin canggih dan mempunyai tingkat akurasi yang tinggi.

Pengawasan terhadap masalah keselamatan dan pengamanan bahan fisil atau bahan nuklir akan semakin diperketat apabila suatu fasilitas nuklir mengelola bahan fisil sejumlah lebih dari 1 (satu) *Significant Quantity* (SQ) ataupun melebihi batasan satu kilogram efektif. Menurut data yang ada hingga saat ini di beberapa fasilitas di BATAN, jumlah bahan nuklir yang dikelola masih di bawah 1 SQ, dengan demikian pola pengawasan dari IAEA belum seketat yang diterapkan pada PLTN. Dengan adanya PLTN kemungkinan produksi plutonium bisa lebih tinggi. Di atas batasan 1 SQ ada kemungkinan bahan nuklir/bahan fisil dapat digunakan untuk tujuan pembuatan senjata atau terorisme. Batasan jumlah SQ dinyatakan dalam Tabel 1.

Batasan untuk kilogram efektif, khusus yang digunakan dalam pengendalian bahan nuklir adalah sebagai berikut:

- a) Untuk plutonium sama dengan beratnya dalam kilogram
- b) Untuk uranium dengan pengayaan < 0,01 (atau 1%) dan pengayaan > 0,005 (atau 0,5%) adalah beratnya dalam kilogram dikalikan dengan faktor 0,000 01.
- c) Untuk uranium deplesi dengan pengayaan \leq 0,005 (atau 0,5%) dan thorium beratnya dalam kilogram dikalikan dengan faktor 0,000 05.

Dalam SPPBN bagi fasilitas nuklir yang memenuhi ketentuan IAEA, maka setiap fasilitas harus mempunyai kode *Material Balance Area* (MBA) dari IAEA setelah mengisi format yang ditentukan. Kode MBA yang dimiliki Indonesia saat ini adalah:

1. RI-A untuk Fasilitas Nuklir Bandung
2. RI-B untuk Fasilitas Nuklir Yogyakarta
3. RI-C untuk PRSG Serpong
4. RI-D untuk PT Batan Teknologi
5. RI-E untuk Fasilitas Riset Bahan Bakar Reaktor Daya
6. RI-F untuk Fasilitas Radiometalurgi
7. RI-G untuk penyimpanan sementara bahan bakar bekas

Dalam uraian berikut akan dibahas masalah pengamanan bahan nuklir khususnya yang menyangkut teknik pengukurannya secara NDA maupun DA untuk keperluan safeguards.

Tabel 1. Batasan SQ bahan nuklir

Material	1 (satu) Significant Quantity (SQ)
Plutonium	8 kg
HEU (pengkayaan \geq 20 %)	25 kg U-235
Uranium 233	8 kg U-233
LEU (< 20%)	75 kg U-235
Uranium alam	10 ton U-alam
Uranium deplesi	20 ton U-depleksi
Thorium	20 ton Th

Sumber: Richard Hoskin (Office of Physical Protection IAEA and SSAC-ITC IAEA, Rusia 2000).

2. TEORI

Sebagai tahap awal untuk mendapatkan kode MBA dari IAEA, fasilitas terkait mengajukan *Design Information Questionnaire* (DIQ) ke IAEA untuk dievaluasi. Setelah mendapat rekomendasi dan kode MBA tertentu maka segala persyaratan untuk memenuhi ketentuan atau kriteria pelaksanaan safeguard harus mengacu pada *Design Information* (DI) yang telah disetujui. Seperti telah disebutkan di atas bahwa klasifikasi tingkat pengamanan bahan nuklir antara lain ditentukan oleh jenis bahan nuklir yang dikelola serta jumlahnya, termasuk dalam jumlah yang memenuhi *Significant Quantity* (SQ) atau tidak. SQ didefinisikan sebagai jumlah bahan nuklir yang apabila dilakukan proses tertentu dapat digunakan dalam produksi senjata nuklir. Kondisi tersebut menentukan pola atau tingkat pengawasannya. Ketentuan teknis pelaksanaan akuntansi bahan nuklir baik untuk kegiatan record maupun report tertuang dalam *Code 10 IAEA*.

Setiap negara anggota (*member state*) IAEA wajib memenuhi ketentuan dalam pelaksanaan MBA serta cakupan sistem pengukuran bahan nuklir menurut IAEA/SG/INF/1 meliputi hal-hal berikut :

- 1) Penentuan titik awal, titik akhir pengujian dan kontrol serta karakteristik bahan nuklir yang diukur.
- 2) Pengkategorian bahan nuklir dan aliran bahan nuklir.
- 3) Penentuan *Material Balance Area* (MBA)
- 4) Pelaksanaan sistem record yang meliputi : *Inventory Change Document* (ICD), *Sub Ledger* (SL) dan *General Ledger* (GL).
- 5) Sistem report yang meliputi : *Inventory Change Report* (ICR), *Physical Inventory Listing* (PIL) dan *Material Balance Report* (MBR).
- 6) Sistem pengukuran meliputi :

- Spesifikasi unjuk kerja pengukuran yang diinginkan
 - Spesifikasi teknik pengukuran yang digunakan dan spesifikasi alat ukur
 - Pola perawatan dan prosedur pengukuran
 - Kualifikasi operator dan syarat training
 - Standar prosedur kalibrasi
 - Pengukuran rutin dan prosedur analisis data
 - Prosedur kontrol kualitas pengukuran dan unjuk kerja perawatan pada level yang ditetapkan.
- 7) Melakukan *Physical Inventory Taking* (PIT). Kewenangan dalam melaksanakan *Physical Inventories* (PI) meliputi:
 - Sistem atau stratifikasi bahan nuklir dalam inventori
 - Kriteria penerimaan hasil pengukuran, termasuk di dalamnya syarat pemakaian label sebagai jaminan/validasi atas pengukuran terdahulu.
 - Kriteria batasan jumlah bahan nuklir dalam bentuk yang sulit diukur
 - Kriteria secara komplit atau parsial dalam pembersihan Instalasi termasuk di dalamnya penentuan derajat ketidaklengkapan yang diperlukan dan metode bawah kriteria yang dipilih harus dapat dipertanggungjawabkan.
 - Kriteria untuk pengambilan khusus dalam *Physical Inventory*, misalnya ketidakwajaran besarnya *Material Unaccounted For* (MUF), *operating accident* atau *unusual loss*.
 - 8) *Shipper/Receiver Differences*
 - 9) *Material balance closing*
 - 10) Penentuan *Containment and Surveillance*
 - 11) *International Transfer* Bahan Nuklir.

Rumus dasar yang digunakan dalam pelaksanaan SPPBN atau akuntansi bahan nuklir adalah :

➤ **Book Inventory = PB + X – Y**

PB = *Physical beginning*

X = Jumlah penambahan bahan nuklir

Y = Jumlah pengurangan bahan nuklir

➤ **Material Unaccounted For = MUF**

MUF = PB + X – Y – PE

PE = *Physical ending*

3. TATA CARA PENGUMPULAN DATA.

Untuk memperoleh data tentang teknik pengukuran yang dilakukan oleh masing-masing fasilitas pemegang kode MBA dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Dilakukan kunjungan dan wawancara dengan fasilitas pemegang kode MBA.
2. Fasilitas pemegang kode MBA BATAN yang dikunjungi adalah Bandung (RI-A), Yogyakarta (RI-B), dan fasilitas di Serpong untuk RI-C, RI-E.
3. Dilakukan pendataan proses dan titik di mana dilakukan pengambilan contoh untuk pengukuran.
4. Dilakukan pendataan sistem yang digunakan dalam pengukuran bahan nuklir untuk safeguards.
5. Dilakukan inventarisasi teknik pengukuran dan MUF yang ditemukan.
6. Dari data yang diperoleh dibahas dan direkomendasikan sistem lain yang mungkin dapat diterapkan dalam teknik pengukuran yang telah dipilih.

4. TEKNIK PENGUKURAN

Teknik pengukuran merupakan bagian penting dari safeguard untuk memperoleh data yang akurat, tepat dan cepat. Perolehan data yang akurat, tepat dan cepat sebagai masukan dalam sistem pembukuan merupakan salah satu tolok ukur keberhasilan atau

kemampuan fasilitas dalam melaksanakan SPPBN masing-masing.

Seiring dengan kemajuan teknologi nuklir, program pengetatan pengawasan penggunaan teknologi nuklir di dunia untuk mengurangi pelanggaran NPT, IAEA terus mengembangkan teknologi safeguards dan peralatan yang digunakannya. Teknik pengukuran untuk akuntansi bahan nuklir dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu dengan cara merusak (*destructive analysis* = DA) dan cara tak merusak (*non destructive analysis* = NDA). Pemilihan teknologi pengukuran dengan NDA atau DA tergantung dari urgensi masing-masing. Misalnya untuk teknik NDA dengan *neutron counting* atau spektrometri sinar gamma dapat memberikan akurasi 1-10%, sedangkan untuk teknik DA secara fisika maupun kimia dapat memberikan akurasi 0,1-1%. Teknologi atau teknis pengukuran untuk safeguard dalam penerapannya sangat dipengaruhi oleh kemampuan masing-masing anggota baik dari segi finansial maupun sumber daya manusianya.

Berbagai peralatan dan sistem yang dapat digunakan dalam akuntansi bahan nuklir adalah:

Non Destructive Analysis (NDA)

- 1) Spektrometri Sinar Gamma (resolusi rendah, menengah dan tinggi)
Sebagian besar bahan nuklir di bawah pengawasan IAEA adalah bahan nuklir pemancar gamma. Dengan teknik ini tanggal pengeluaran bahan bakar dari reaktor dapat diverifikasi dengan mengukur intensitas relatif pancaran gamma dari produk fisi dan produk aktivasi (energi 662 KeV pancaran gamma Cs-137).
- 2) Pencacahan Neutron (*Neutron counting*)
Banyak tipe detektor berbeda digunakan oleh IAEA untuk pencacahan neutron, sistem detektor pasif (*well detector* dan *collar detector*) maupun detektor aktif.

Sistem detektor pasif menentukan massa Pu berdasarkan pembelahan spontan dari isotop bernomor genap (Pu-240 memberikan kontribusi yang terbesar). Untuk cuplikan yang tidak terkontaminasi, keakuratan pengukuran adalah 1% atau kurang. Sistem detektor aktif menggunakan sumber neutron (AmLi) untuk bereaksi dengan U-235 dalam cuplikan.

- 3) Pengukuran Bahan Bakar Bekas
Metode untuk memverifikasi bahan bakar bekas tidak hanya dengan pendeteksian neutron tetapi juga dengan pendeteksian radiasi gamma dan sinar ultra violet (radiasi *Cerenkov*). Fork Detector (FDET) menggabungkan detektor neutron dan gamma untuk memverifikasi sejarah irradiasi, kandungan awal bahan bakar dan jumlah siklus penyinaran bahan bakar dalam reaktor.
- 4) Teknik NDA lain (pengukuran radiasi, pengukuran secara fisik)
Teknik dengan pengukuran radiasi, misalnya K-edge Densitometer (KEDG) dapat dipakai untuk menentukan konsentrasi plutonium di dalam larutan. Teknik ini terdiri dari detektor Ge dengan resolusi tinggi dan MCA. Dengan sumber gamma berenergi rendah (Se-57 atau Co-57) untuk meradiasi larutan. Absorpsi dari gamma akan menghasilkan pengukuran yang sensitif terhadap Pu.

Destructive Analysis (DA)

Pengukuran melalui analisis dengan merusak dapat dilakukan untuk penentuan komposisi isotop bahan bakar tipe padat dan cair yang dihasilkan dari fasilitas nuklir. Penggunaannya antara lain untuk memverifikasi bahwa pengalihan bahan nuklir tidak berlarut-larut, memverifikasi standard kerja yang digunakan untuk kalibrasi instrumen NDA dan instrumen verifikasi yang terpasang, memperoleh jaminan tentang kualitas dan ketidaktergantungan dari pengukuran di lokasi, serta melakukan verifikasi

periodik.

1) Analisis Unsur

Beberapa teknik analisis merusak ialah :

- Analisis uranium dengan titrasi Potensiometrik. Alat ini mampu menganalisis cuplikan dengan kandungan paling tidak 50 mg U dengan tingkat akurasi mencapai 0,05% relatif. Pemakaian cara ini untuk plutonium mencapai tingkat akurasi 0,1% serta kandungan plutonium mencapai 2-4 mg Pu dalam larutan. Metoda ini digunakan untuk analisis bahan nuklir tidak diirradiasi, dikembangkan di *Safeguard Analytical Laboratory (SAL)* IAEA.
- Analisis plutonium dengan kalorimetri potensial terkendali digunakan setelah dilakukan pemisahan kimia (Np) dengan cara pertukaran anion kromatografi agar pengukuran lebih presisi dan keakuratan mencapai 0,05% relatif untuk 1-2 mg Pu.
- Analisis uranium dan plutonium dengan pembakaran gravimetri. Keakuratan pengukuran pada cuplikan dengan kandungan pengotor kurang dari 200 ppm mencapai 0,05% relatif. Teknik ini digunakan untuk penentuan konsentrasi U dan Pu dalam oksida, U dikonversi ke U_3O_8 dan Pu dikonversi ke PuO_2 masing-masing pada pembakaran di udara dengan suhu 900°C dan 1200°C.
- Analisis uranium, thorium, dan plutonium dengan K-edge X Ray Densitometri, dapat diterapkan juga untuk bahan campuran U-Th, U-Pu. Akurasi alat mencapai 0,2% untuk konsentrasi larutan 80-120 gram/liter.
- Analisis plutonium dengan K X ray Fluorescence, keakuratan mencapai 0,2% relatif untuk cuplikan larutan PuO_2 nitrat dan Pu nitrat dengan kandungan minimal 3-4 mgr. Dapat digunakan juga untuk cuplikan larutan Pu dalam larutan MOX dan U-Pu.
- Analisis Pu dan U dengan

Wavelength Dispersive X Ray Fluorescence Spectrometry, digunakan untuk analisis oksida Pu dan Pu-U secara cepat dalam hubungannya dengan tungku frekuensi tinggi.

2) Analisis isotop

- Analisis U atau Pu dengan Isotope Dilution Mass Spectrometry, digunakan untuk penentuan U dan Pu dalam larutan bahan bakar bekas serta U dan Pu kadar rendah (tingkat mgr dalam limbah nuklir). Tingkat akurasi dan ketelitian dengan alat ini mencapai 0,1% relatif.
- Analisis komposisi U dan Pu dengan Thermal ionization Mass Spectrometry, menerapkan dua detektor majemuk spektrometer massa dan masing-masing dilengkapi dengan Faraday cup., Perbandingan isotop 0,05 sampai dengan 20 dapat memberikan ketelitian dan akurasi 0,05 relatif.
- Analisis komposisi isotop Pu dilakukan dengan spektrometri sinar gamma beresolusi tinggi. Ketelitian metode ini 0,5-2 % relatif. Cuplikan pada kemasan asli diukur dengan detektor Ge pada rentang energi 0-614 KeV dengan menggunakan MCA dan menghitung Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241. Isotop Pu-242 dihitung dengan korelasi isotop, U-235, Np-237 dan Am-241 kalau ada dalam cuplikan dihitung secara simultan.
- Penentuan U-235 dalam larutan dengan spektrometri sinar gamma.

3) Teknik DA lain

- Spektrometri α digunakan dalam pengukuran Pu-238 dengan detektor Si(Li) atau detektor implantasi ion.
- Laser fluorimetry, untuk penentuan Np dalam larutan.
- Plutonium (VI) spektrometri, digunakan untuk penentuan Pu dalam jumlah miligram dari cuplikan.

Containment and Surveillance (C/S)

Teknik C/S dikembangkan oleh IAEA karena pemakaiannya yang luwes dan efektif, ada dua teknik utama yaitu :

- *Optical Surveillance Systems*, sangat efektif untuk untuk pengawasan pergerakan/perpindahan di daerah penyimpanan bahan bakar dan kolam bahan bakar bekas. Termasuk dalam jenis alat ini adalah : optical surveillance system, single camera system, multiple camera system, MOSS, dan video review system.
- *Sealing Systems*, teknik ini diterapkan pada bahan bakar tunggal atau item tunggal yang mengandung bahan nuklir. dengan sistem ini pengawas tidak perlu hadir dekat pada tempat pengawasan dan dalam pengoperasiannya dapat ditingkatkan dengan sistem transmisi jarak jauh untuk mengetahui data hasil pengamatan, data operasi sistem. Termasuk dalam jenis alat ini adalah : *single use sealing, in situ verifiable seals, ultrasonic seal* dan *ultrasonic sealing bolt*.

Unattended and Remote Monitoring

Perangkat alat ini digunakan untuk fasilitas nuklir yang beroperasi secara kontinyu dan beradiasi tinggi. Beberapa keuntungan pemakaian perangkat ini antara lain: mengurangi frekuensi tinjauan inspektur ke lokasi, menurunkan paparan radiasi inspektur, menurunkan tingkat gangguan operasi fasilitas nuklir. Data dapat dipantau dari jarak jauh (langsung ke IAEA). Sangat efektif untuk pendeteksian aliran perpindahan bahan nuklir yang besar atas dasar pendeteksian radiasi. Safeguards Remote Monitoring Systems (SRMS) telah dioperasikan sejak tahun 1996, dengan cara pengiriman gambar dan data secara langsung ke IAEA. Ada berbagai jenis sistem peralatan ini antara lain: *unattended fuel flow monitoring, entrance gate monitor, CANDU core discharge monitoring*, dan

CANDU spent fuel bundle counter.

Environment Sampling

Pengambilan cuplikan lingkungan telah diperkenalkan sejak tahun 1966 sebagai salah satu metode pengawasan baru IAEA untuk mengetahui keberadaan bahan nuklir atau kegiatan nuklir yang tidak diumumkan. Sebagai kelengkapan prosedur ini adalah adanya *clean laboratory* untuk pengawasan dengan cara *Screening of Samples* yang tepat dan analisis isotop serta elemen yang benar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pendataan ke fasilitas pemegang kode MBA di Batan, diperoleh data sebagai berikut:

- 1) Hampir semua fasilitas pemegang kode MBA telah melakukan pengukuran bahan nuklir baik secara penimbangan ataupun perhitungan.
- 2) Prosedur pengukuran telah dilaksanakan sesuai dengan ketentuan.
- 3) Penggunaan teknik analisis disesuaikan dengan bahan yang diukur, yaitu: teknik NDA untuk bahan nuklir berbentuk serbuk sedangkan teknik DA untuk bahan nuklir berbentuk spent fuel.
- 4) Kalibrasi peralatan juga telah dilakukan secara rutin.
- 5) MUF yang diperoleh hampir di semua fasilitas rata-rata 0 (nol)

Dari data tersebut diatas, teknik pengukuran sebagian besar selama ini masih dilakukan dengan cara penimbangan (fisika). Berbagai kendala dan beberapa faktor pendukung menyebabkan kurang dikembangkannya teknik pengukuran dengan peralatan yang lebih modern. Faktor kendala yang mempengaruhi kurang dikembangkannya teknik pengukuran lain antara lain:

- 1) Finansial yang terkait dengan pengadaan peralatan.
- 2) Kurangnya keseriusan atau minat para peneliti dalam bidang ini.

3) Di samping hal tersebut juga adanya faktor pendukung bahwa selama ini dengan teknik pengukuran seperti yang dilakukan selama ini hasilnya masih dapat diterima oleh pihak pengawas.

4) Faktor lain yang mempengaruhi adalah adanya pertimbangan bahwa jumlah bahan nuklir masih di bawah 1 SQ dan nilai MUF yang relatif kecil atau mendekati nol.

Dari sisi sistem rekord dan report untuk dokumentasi pendukung akuntansi bahan nuklir dan pelaporan ke IAEA juga masih dilakukan secara manual.

Dengan sistem dan peralatan yang telah ada di beberapa fasilitas BATAN sebenarnya teknik lain masih dapat dilakukan sehingga diperoleh hasil yang lebih cepat dan akurat. Tetapi untuk teknik sampling lingkungan sulit dilakukan mengingat diperlukannya alat penunjang lain yang belum tersedia antara lain detector dengan latar rendah serta laboratorium bersih (*clean laboratory*). Pengukuran dengan teknik sampling lingkungan pernah dilakukan oleh IAEA pada tahun 1996 dalam rangka *field trial* sebagai pelengkap atau verifikasi data yang disampaikan ke IAEA.

Teknik penunjang seperti C/S peralatan dimiliki oleh IAEA dan umumnya hanya IAEA yang akan membaca dan melakukan pendataan dari system C/S yang dipasang. Dalam waktu dekat mungkin Indonesia belum dapat melakukan sendiri mengingat dari sisi urgensi dan finansial yang belum mendukung. Sedangkan untuk system *Unattended and Remote Monitoring* juga belum diperlukan, mengingat alat ini efektif digunakan apabila suatu fasilitas beroperasi secara kontinyu sehingga menurangi frekuensi tinjauan ke lapangan, cukup dengan pengiriman data dan gambar ke IAEA. Dengan cara ini akan sangat menguntungkan pihak fasilitas karena frekuensi kunjungan audit/inspeksi berkurang.

Beberapa peralatan untuk mendukung teknik analisis khususnya dengan system merusak / DA dalam analisis isotop seperti halnya spektrometri telah dipunyai tetapi selama ini belum digunakan untuk mendukung system safeguards, baru digunakan untuk keperluan analisis di masing-masing laboraorium.

Khusus untuk teknik NDA banyak dijumpai kesulitan dalam melakukan pengukuran bahan bakar bekas (*spent fuel*) yang berada dalam *hot cell*. Hal ini disebabkan karena tidak lengkapnya system pendukung untuk melakukan analisis disamping bahan bakar bekas masih mempunyai tingkat radiasi yang tinggi. Dengan kondisi seperti tersebut maka untuk bahan bakar bekas hanya dilakukan pengukuran secara perhitungan atas dasar sertifikat yang ada serta data *burn up* dari reactor denga waktu pendinginan terentu.

5. KESIMPULAN.

1. Cara pengukuran bahan nuklir yang digunakan selama ini masih bersifat manual yaitu dengan penimbangan (serbuk) dan perhitungan untuk bahan bakar bekas.
2. Mengingat ada beberapa peralatan yang dapat digunakan untuk menunjang sistem pengukuran bahan nuklir untuk safeguards maka teknik pengukuran lain di BATAN masih dapat dikembangkan.
3. Diperlukan partisipasi dan kemauan bagi para penanggungjawab pemegang kode MBA untuk mengembangkan teknik pengukuran lain sebagai antisipasi kedepan sesuai ketentuan IAEA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. JOHNSON.S.2000."Introduction to IAEA Safeguards". International Training Course on Implementation of State on Accounting for and Control of Nuclear Material (SSAC),

St.Petersburg, The Russian Federation, 29 August to 7 September 2000.

- [2]. BAPETEN, "Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir", Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Nomor 13/Ka-BAPETEN/VI-99.
- [3]. NO NAME. 2000.*Regional Training Course on National Safeguard System*. Sydney and Canberra, Australia 24 March – 14 April.
- [4]. Undang-Undang RI Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
- [5]. IGN DJOKO IRIANTO.2003. "Implementasi Sistem Proteksi Fisik Di Fasilitas Nuklir Batan", Prosiding Seminar Internasional Teknologi Pengamanan Bahan Nuklir ke-4, Jakarta, 13-14 Oktober 2003.
- [6]. IAEA.1997. International Nuclear Verification Series No.1 "Safeguards Techniques and Equipment" Vienna.
- [7]. INDRO YUWONO.2000 ."Perkembangan Teknologi Proteksi Bahan Nuklir di Indonesia", Prosiding Seminar Teknologi Pengamanan Bahan Nuklir Ke-1, Jakarta, 21 November 2000.
- [8]. INDRO YUWONO.2001."Pengkajian Implementasi Safeguards dalam Industri Kimia untuk Melacak Bahan Peledak", Prosiding Teknologi Pengamanan Bahan Nuklir Ke-2, Jakarta 5-6 November 2001.
- [9]. INDRO YUWONO.2000.. "Analisis Implementasi Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir (SPPBN) di BATAN" Prosiding Seminar Teknologi Pengamanan Bahan Nuklir Ke-1, Jakarta 21 November 2000.