

PENGGUNAAN METODA STATISTIK UNTUK MELACAK KEHILANGAN BAHAN NUKLIR DALAM SISTEM AKUNTANSI BAHAN NUKLIR

Jupiter Sitorus Pane^{*)}

ABSTRAK

PENGGUNAAN METODA STATISTIK UNTUK MELACAK KEHILANGAN BAHAN NUKLIR DALAM SISTEM AKUNTANSI BAHAN NUKLIR. Perbedaan besar inventori buku dan inventori fisik dapat disebabkan oleh beberapa hal dalam sistem akuntansi bahan nuklir antara lain oleh adanya kesalahan, hilang dalam proses, dan bahkan pencurian. Sesuai dengan tujuan Badan Tenaga Atom Internasional, IAEA, untuk mengendalikan penggunaan bahan nuklir untuk tujuan damai maka deteksi dini terhadap penyimpangan penggunaan bahan nuklir merupakan prioritas utama dalam melakukan inspeksi Bahan Nuklir. Dalam makalah ini akan diuraikan tiga skenario penyimpangan (*diversion scenario*) bahan nuklir berikut metode statistik yang digunakan untuk melacak kehilangan bahan nuklir tersebut. Sebagai studi kasus telah dilakukan analisa statistik untuk bahan nuklir Daerah Neraca Bahan fasilitas RI-C (RSG-GAS) dan fasilitas untuk simulasi.

Kata Kunci : nuclear material, metoda statistik, penyimpangan/pencurian.

ABSTRACT

THE USE OF STATISTICAL METHOD FOR DETECTING NUCLEAR MATERIAL DIVERSION IN NUCLEAR MATERIAL ACCOUNTANCY. The discrepancy between book inventory and physical inventory could be caused by some factors such as errors, missing during the process, and even theft. As IAEA aims to control the utilization of nuclear material for peaceful purposes, the early detection of the diversion becomes the main priority of its inspection. This paper describes three scenario of diversion that might occur and the statistical method used to detect such diversions. The case study is the statistical analysis on Material Balance Area in RI-C facility and other MBA benchmarks.

Keywords: nuclear materials, statistical method, diversion.

^{*)} Staf Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset BATAN

1. PENDAHULUAN

Dalam Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir pada suatu Daerah Neraca Bahan, yaitu daerah di dalam atau di luar fasilitas yang ditetapkan sebagai daerah dimana jumlah setiap bahan nuklir yang masuk ke dalam atau keluar dapat ditentukan, operator fasilitas berkewajiban melaporkan kondisi bahan nuklirnya ke Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) dalam rangka pengendalian penggunaan Bahan Nuklir untuk tujuan damai. Oleh karena itu kehilangan bahan nuklir, baik yang dilakukan secara sengaja maupun tidak, merupakan objek utama pemeriksaan bahan nuklir yang dilakukan inspektur seifgard IAEA. Kehilangan bahan nuklir dikenal dengan istilah 'bahan nuklir yang tidak dapat dipertanggung jawabkan' (*Material-Unaccounted-For, MUF*) yaitu besar perbedaan inventory buku dan inventori fisik ^[1]. Untuk bahan nuklir seperti elemen bakar reaktor yang unit pengukurannya adalah 'butir' dan sering disebut "*item counting*" harga MUF harus senantiasa nol. Sedangkan untuk bahan nuklir dalam bentuk curah (*bulk*), harga MUF tidak mungkin nol karena selama proses, sejak dari bahan nuklir masuk sampai keluar, telah terjadi banyak kesalahan dalam pengukuran, perbedaan kondisi pengukuran dan lain-lain, dan bukan tidak mungkin terjadi kesalahan yang disengaja dengan melakukan pencurian.

Ada tiga bentuk pencurian bahan nuklir yang mungkin terjadi dalam suatu fasilitas nuklir berbentuk curah yaitu dengan ^[2]:

1. Mengambil beberapa item dari bahan nuklir dan menggantikannya dengan barang palsu. Bentuk penyimpangan ini sering disebut ketidak-sesuaian kasar (*gross defect*)
2. Mengambil sebagian dari bahan nuklir yang ada dalam satu item, yang sering disebut ketidak-sesuaian sebagian (*partial defect*)
3. Mengambil bagian yang sangat kecil pada semua item, sering disebut ketidak-sesuaian kecil (*small defect*)

Permasalahannya adalah bagaimana inspektur Seifgard dapat menentukan telah terjadi pencurian bahan nuklir khususnya untuk pengambilan dalam jumlah yang sangat kecil namun dilakukan dalam jangka panjang.

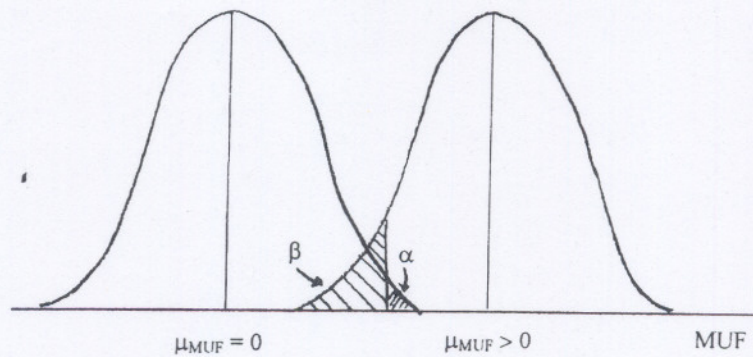
Dalam makalah ini akan diuraikan teknik inspeksi untuk menentukan kehilangan bahan nuklir dengan menggunakan metode statistik dengan tujuan agar pengusaha nuklir dapat mengantisipasi kemungkinan terjadinya kehilangan bahan nuklir baik secara tidak sengaja maupun sengaja oleh pihak yang tidak bertanggung jawab di dalam Daerah Neraca Bahannya (*Material Balance Area*). Metode ini digunakan mengingat metode *sampling* dapat mempermudah pekerjaan inspektur dan hasilnya dapat dipertanggung jawabkan. Sebagai studi kasus akan dibahas analisis statistika untuk bahan nuklir di Daerah Neraca Bahan Fasilitas RI-C (nama fasilitas neraca bahan nuklir RSG-GAS untuk tujuan seifgard) dan Neraca Bahan untuk Simulasi.

2. LANDASAN TEORI

Metoda Statistik

Seperti yang telah diuraikan dalam pendahuluan bahwa untuk fasilitas Nuklir yang memiliki bahan nuklir curah adalah sangat tidak mungkin untuk mendapatkan kesalahan nol, mengingat beberapa faktor yang mempengaruhinya, seperti yang diuraikan pada Bab pendahuluan. Oleh karena itu yang menjadi sasaran dalam evaluasi laporan Akuntansi Bahan Nuklir adalah seberapa jauh kesalahan itu dapat diterima atau tidak. Alat yang paling tepat untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan metoda statistik. Suatu data dapat diterima atau tidak ditandai dengan seberapa besar tingkat kepercayaan yang ditetapkan untuk suatu pengukuran.

Dalam metode statistika, tingkat kepercayaan terhadap suatu data diukur dengan parameter α dan β . Parameter α adalah angka yang menunjukkan kemungkinan kesalahan suatu hipotesis H_0 yang ditetapkan, sedangkan parameter β menunjukkan kemungkinan kegagalan menemukan jumlah sasaran yang ditetapkan. Gambar 1 menunjukkan parameter α dan β dalam suatu fungsi kerapatan amplitudo data MUF, dengan μ_{MUF} sebagai MUF rata-rata.



Gambar 1 Besaran α dan β dalam suatu fungsi kerapatan

Tingkat kepercayaan sangat bergantung kepada faktor kesalahan yang terlibat dalam proses pengukuran, oleh karena itu perhitungan variasi suatu pengukuran sangat diperlukan. Dalam akuntansi bahan nuklir terdapat dua faktor kesalahan dominan yang diperhitungkan yaitu kesalahan random (*random error*) dan kesalahan sistematik (*systematic error*). Kesalahan random adalah kesalahan yang menyebabkan perbedaan antara satu pengukuran dan pengukuran berikutnya terhadap materi yang sama dalam satu kali pengukuran. Termasuk dalam kesalahan random adalah kesalahan menetapkan skala terkecil antara satu alat ukur dengan alat ukur lain, fluktuasi kondisi pengukuran, perubahan kecil, dan ketidak homogenan. Kesalahan sistematik adalah kesalahan yang menyebabkan perbedaan terhadap nilai sebenarnya antara satu pengukuran dengan pengukuran berikutnya dalam besaran yang sama. Termasuk dalam kesalahan ini adalah kesalahan kalibrasi, kesalahan personal, kesalahan kondisi pengukuran, dan kesalahan teknik pengukuran. Dengan faktor kesalahan ini maka fluktuasi suatu pengukuran akan sangat mudah terjadi. Dalam hal ini diasumsikan fluktuasi terjadi disekitar harga rata-rata dan fluktuasi iitu sendiri ditandai dengan harga variansi.

Harga rata-rata pengukuran dihitung dengan persamaan.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots(1)$$

- dengan X_i : harga pengukuran ke i
- N : banyaknya pengukuran

dan variansinya dihitung dengan persamaan

$$\text{Variansi : } X^2 = \sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \dots\dots\dots(2)$$

MUF dan σ_{MUF} ^[3]

Dari sudut pandang akuntansi bahan nuklir maka aturan utama dalam inspeksi adalah menetapkan tingkat kepercayaan terhadap MUF dan σ_{MUF} yang dilaporkan oleh operator.

Definisi dari MUF dapat dirumuskan sebagai :

$$MUF = BI + E - S + EI \dots\dots\dots(3)$$

- BI = Inventory awal
- E = Penerimaan
- S = Pengiriman
- EI = Inventory akhir

Dengan demikian pengaruh kesalahan MUF merupakan akumulasi kesalahan dari keempat faktor di atas.

σ_{MUF} tingkat kepercayaan terhadap MUF dan variansinya dapat digambarkan melalui statistik D.

Statistik D

Statistik \hat{D} adalah harga perkiraan bias MUF suatu fasilitas yaitu perbedaan inventory buku dan inventory fisik dari masing-masing strata. Dalam prakteknya bias dinyatakan sebagai harga pengukuran oleh fasilitas minus pengukuran oleh inspektur. Bias MUF, \hat{D} , secara keseluruhan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\hat{D}_k = N_k \cdot \bar{d}_k \dots\dots\dots(4)$$

- dengan d_k : bias untuk strata k
- N_k : banyaknya strata

Aktivitas Inspeksi^[4]

Aktivitas Inspeksi diklasifikasikan dalam dua macam yaitu inspeksi *Attribute* dan inspeksi *Variable*. Inspeksi *attribute* tidak berhubungan dengan kuantitas pengukuran melainkan dengan hal diterima dan tidak diterimanya suatu *defect*, sedangkan inspeksi *Variable* menugaskan sebuah nilai pengukuran untuk setiap item yang disampling, dan nilai pengukuran kelompok item yang digabung sedemikian rupa untuk memberi sebuah nilai statistik, atau sebuah fungsi pengamatan yang dipakai dalam evaluasi dengan beberapa cara yang ditentukan.

Aktivitas Inspeksi *Attribute*

Aktivitas inspeksi *attribute* ini dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu pertama adalah pengujian *record* dan kedua adalah pengukuran data. Aktivitas pengujian data *record* terdiri dari :

1. Inspeksi untuk menemukan pencatatan yang salah dan/atau salah perhitungan dalam stratum. Usahakan 100%.
2. *Reconciliation* data penerimaan, shipment, dan inventori dengan yang dilaporkan ke IAEA.
3. Pengecekan bahan nuklir terhadap data sumber, biasanya dilakukan berdasarkan pada sebuah sampling.
4. Aktivitas verifikasi dengan menghitung jumlah item-item untuk membuktikan jumlah item tersebut sesuai dengan jumlah daftar pada *record fasilitas*.
5. Inspeksi dengan *attribute* untuk menemukan ketidak sesuaian atau *defect*.

Untuk mendapat kesimpulan yang dapat dipertanggung jawabkan haruslah ditempuh cara-cara pengambilan sampel atau sampling yang benar. Metode untuk memperoleh ukuran sample suatu inspeksi *Attribute* pada sebuah stratum digunakan persamaan :

$$n_a = N(1 - \beta^{X/M}) \dots\dots\dots(5)$$

dengan n_a = jumlah item yang diinspeksi dalam stratum k

N = jumlah item dalam stratum k

M = jumlah elemen sasaran

X = jumlah rata-rata item dalam stratum k

β = peluang kegagalan untuk menemukan jumlah M, jika jumlah ini hilang dari stratum.

Aktivitas Inspeksi *Variable*

Dalam metode ini dibandingkan antara satu variabel dengan variabel yang lain dan memeriksa keabsahan perbedaan variabel tersebut. Dengan metode ini penyimpangan atau ketidak sesuaian dihitung dengan menggunakan statistika \hat{D} seperti yang telah diuraikan di atas.

Penentuan Jumlah Sampel, N_{v2}

Dalam penentuan jumlah sampel yang harus diukur, terdapat 3 (tiga) kriteria penting yang sangat menentukan:

1. Kemungkinan (*Probability*) besar bias, D , dari nilai nol tetapi sesungguhnya tidak, α
2. Jumlah sasaran, M , sehingga D lebih besar dari M dalam harga mutlak dengan menghitung kemungkinan $1 - \beta$
3. Menetapkan hipotesis

$H_0 : D = 0$ ditolak bila D lebih kecil dari besaran negatif D_0 . D_0 adalah harga bias yang diperkenankan

Dengan mengetahui harga α , β , dan M barulah dapat ditentukan besar sample N_{v2} .

Untuk mendapatkan harga D_0 dan N_{v2} dapat dihitung dengan memecahkan persamaan simultan.

$$\text{Probabilitas } (D < D_0 / D = 0) = \alpha \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Probabilitas } (D < D_0 / D = -M) = 1 - \beta \dots\dots\dots(7)$$

dari persamaan (5) dapat diturunkan

$$D_0 = -t_\alpha \sigma_{\hat{D}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma_{\hat{D}} = \frac{M}{[t_\alpha + t_\beta]} \dots\dots\dots (9)$$

t_α = didefinisikan dalam persamaan

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \alpha \quad \dots\dots\dots (10)$$

Dari persamaan yang membentuk $\sigma_{\hat{D}}$ dapat diitung berapa nilai besar sampel yang diperlukan untuk memeriksa penyimpangan dalam jumlah kecil.

$$\sigma_{\hat{D}} = \sqrt{\sum_{k=1}^k N_k^2 \left(\frac{\sigma_{rk}^2}{Nv_{2k}} + \sigma_{sk}^2 \right)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

- σ_{rk} = random error
- σ_{sk} = systematic error
- Nv_{2k} = jumlah item tiap stratum

dari persamaan ini terlihat ada banyak kombinasi nilai Nv_{2k} untuk suatu nilai $\sigma_{\hat{D}}$. untuk menyelesaikan ini maka perlu dicari bentuk kombinasi yang mungkin sehingga $Nv_{2k} = \sum Nv_{2k}$, dimana $\sigma_{\hat{D}}$ adalah minimal. Dengan optimasi standard diperoleh :

$$Nv_{2k} = \frac{Nv_2 N_k \sigma_{rk}}{\sum_k N_k \sigma_{rk}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

dengan memasukkan persamaan (11) ke persamaan (10) diperoleh

$$\sigma_{\hat{D}}^2 = \frac{\left(\sum_{k=1}^k N_k \sigma_{rk} \right)^2}{Nv_2} + \sum_{k=1}^k N_k^2 \sigma_{sk}^2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

Dengan menggunakan persamaan (8) diperoleh :

$$Nv_2 = \frac{\left(\sum_{k=1}^k N_k \sigma_{rk} \right)^2}{\left(M \right)^2 - \sum_{k=1}^k N_k^2 \sigma_{sk}^2} \dots\dots\dots(14)$$

Pengujian Bias

Dengan sudah ditentukannya jumlah N yang akan dicuplik maka dapat dihitung besar bias yang terjadi dengan menghitung bias yang terjadi pada setiap strata bahan nuklir, baik strata input, pengiriman maupun inventory.

Standar Internasional Akuntansi

Variansi MUF di gunakan untuk men-tes hypothesis bahwa nilai sebenarnya MUF sama dengan beberapa harga tertentu, misalnya untuk fasilitas fabrikasi U = 3%. Besaran ini ditetapkan secara internasional dalam bentuk standard.

3. PENGUJIAN BIAS BAHAN NUKLIR FASILITAS MBA RI-C

MBA RI-C adalah nama fasilitas pengelolaan bahan nuklir untuk fasilitas Reaktor Serba Guna RSG-GAS. Dari sisi pengukuran bahan nuklirnya maka pada MBA RI-C ini terdapat 2 (dua) jenis bahan nuklir yaitu bahan nuklir dengan *item counting* dan *bulk counting*. MBA RI-C terdiri dari 4 (empat) Lokasi Pengukuran Pokok (*Key Measurement Point, KMP*) yaitu KMP A,B,C. dan D. Pada KMP A, B, C secara dominan tersimpan bahan nuklir dengan *item counting* dan oleh karena itu MUF selalu nol, sedangkan pada KMP D tersimpan bahan nuklir dengan *bulk counting* dan oleh karena itu MUF selalu mempunyai nilai. Status inventory KMP-D per 12 July 2000 adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 : Status inventory KMP-D per 12 July 2000

No.	Jenis Uranium	Item	Elemen (g)	Isotop (g)
1.	Enriched Uranium	261	1.477.290	1.369.525
2.	Low Enriched	11	154.943	30.767
3.	Natural U	28	525.815	
4.	Depleted Uranium	2	52.957	

Dalam pembahasan ini akan dititik beratkan pada status *Enriched Uranium* dengan memperhatikan hasil pelaporan Februari 2000 dan Juli 2000. Pada Tabel 2 ditunjukkan kondisi bahan nuklir pada periode inspeksi Februari 2000 dan Juli 2000.

Tabel 2: Status Inventory *High Enriched Bulk Counting* MBA-RIC per 28 February 2000 dan 12 July 2000

No.	Nama Item	Batch		Item		High Enriched Uranium			
		02/00	07/00	02/00	07/00	Elemen		Isotop	
						02/00	07/00	02/00	07/00
1.	UTP in RIL	3	7	3	7	799.973	760.151	741.030	704.194
2.	UTS in RIL	1	17	1	19	115.812	141.469	107.476	131.209
3.	U UNIRR	1	13	1	13	26.654	24.604	24.653	22.759
4.	U-URFW	1	213	1	219	502.922	518.108	466.633	480.679
5.	UIRR	1	1	1	1	2.625	2.625	2.428	2.428
6.	U-WFP	1	1	1	1	30.238	30.238	28,166	18,166
7.	Fission Chamber	1	3	1	1	2.005	0.095	1.857	0.090

Dari Tabel 2 terlihat bahwa jumlah inventory terbesar uranium tersimpan pada Batch URFW15 sebanyak 219 item, dengan massa elemen 518.108 g dan isotop sebesar 480.679 g. Inventori awal URFW15 diambil dari status pelaporan Tahunan MBA RI-C Februari 2000 tercatat bahwa Batch URFW15 berasal dari URFW14 dengan item 213 dan dengan massa elemen sebesar 502.922 g dan isotop sebesar 466.663 g. Peningkatan jumlah URFW14 ke URFW15 dikarenakan adanya proses dari batch UTP.

Dengan memperhatikan kecilnya jumlah *enriched* uranium URFW dalam tiap item maupun tambahan item maka tidak perlu dilakukan pengetesan secara test variable dalam modus variabel. Sebagai penggantinya cukup ditentukan berapa item yang perlu diukur agar dapat dipastikan tidak terdapat item palsu pada *batch* tersebut. Untuk itu dilakukan atribut testing dengan menghitung jumlah sampel yang harus diukur dengan menggunakan persamaan (5).

Target pemeriksaan adalah sebesar 520 g. Jumlah item adalah 219. Satu item rata-rata massanya adalah 3 g, dan M diambil sebanyak = 26
Maka nilai n_a adalah

$$219 (1 - 0.05^{3/26}) = 219 (1 - 0.05^{0.115}) = 63.82 \approx 64$$

Untuk mencegah hilangnya 269 elemen maka perlu dilakukan pengukuran terhadap sebanyak. 64 item. Apabila setelah pengukuran ke 64 tidak ditemukan penyimpangan maka diasumsikan tidak terjadi penyimpangan.

4. PENGUJIAN BIAS UNTUK FASILITAS YANG BESAR SEBAGAI STUDI KASUS.

Dalam satu MBA Fasilitas serah terima bahan nuklir sebanyak 4000 item dengan rata-rata per item 20 kg. Setelah melalui proses telah berhasil dibuat dan dikirimkan sebanyak 7500 bungkus luaran dengan rata-rata 4 kg/bungkus dan tersisa dalam inventory sebanyak 1000 bungkus dengan rata-rata per bungkus 5 kg dengan error seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 : Data Inventory buku dan variansi pengukuran fasilitas untuk simulasi.

	Masukan	Keluaran	Inventory akhir
N_k	4000	7500	10000
X	20	4	5
σ_{ork}	0,08	0,01	0,05
σ_{ork}	0,04	0,008	0,04
σ_{irk}	0,10	0,02	0,075
σ_{irk}	0,05	0,01	0,05

Berapa besar sampel yang harus dicacah dan bagaimana status biasanya?

Dalam perhitungan ini diambil tingkat kepercayaan :

$$\alpha = \beta = 0,05 \quad \text{----->} \quad t_\alpha + t_\beta = 3,29$$

$$M = 2500 \text{ Kg U}$$

$$N_1 \sigma_{r1} = 4000 \sqrt{0.0164} = 512.2$$

$$N_2 \sigma_{r2} = 7000 \sqrt{0.0005} = 167.7$$

$$N_3 \sigma_{r3} = 10.000 \sqrt{0.008125} = 901.4$$

$$\sum N_k \sigma_{rk} = 1581.3$$

$$N_1^2 \sigma_{s1}^2 = (4000)^2 (0.0041) = 65600$$

$$N_2^2 \sigma_{s2}^2 = (7500)^2 (0.000164) = 9225$$

$$N_3^2 \sigma_{s3}^2 = (10000)^2 (0.0041) = 410000$$

$$\sum N_k^2 \sigma_{sk}^2 = 484825$$

Total sampel yang diperlukan dihitung dengan menggunakan persamaan (9) diperoleh hasil :

$$Nv_2 = \frac{(1581.3)^2}{\left(\frac{2500}{3.29}\right) - 484825} = 27$$

Alokasi setiap strata :

$$\text{Input (stratum 1)} : Nv_{21} = (27.00) (512.2/1581.3) = 8.74 = 9$$

$$\text{Output (stratum 2)} : Nv_{22} = (27.00) (167.7/1581.3) = 2.86 = 3$$

$$\text{Inventory (stratum 3)} : Nv_{23} = (27.00) (901.4/1581.3) = 15.39 = 16$$

Dengan demikian jumlah cacahan harusnya 28 bukan 27. Dengan cara ini diperoleh $\sigma_{\hat{D}}$:

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{D}} &= \frac{(1581.3)^2}{28} + 484825 = 574129 \text{ kg U} \\ &= 758 \text{ kg U} \end{aligned}$$

Dari data ini \hat{D}_0 dapat dihitung sebagai

$$D_0 = -t_{\alpha} \sigma_{\hat{D}} = -(1645)(758) = -1247 \text{ Kg U}$$

Berdasarkan data ini dilakukan pengukuran oleh inspektur terhadap sampel dengan hasil sebagai berikut :

Input (1)			Output (2)			Inventory (3)		
X ₀	X ₁	D	X ₀	X ₁	D	X ₀	X ₁	D
19,88	20,23	-0,35	4,018	3,986	0,032	5,29	5,25	0,04
21,35	21,31	0,04	3,921	3,90	0,021	5,10	5,01	0,09
19,69	19,64	0,05	4,143	4,153	-0,010	5,12	4,80	0,32
20,28	20,28	0,00				5,19	5,12	0,07
19,39	19,33	0,06				4,90	4,95	-0,05
19,38	19,34	0,04				5,00	5,00	0,00
20,02	19,99	0,03				4,87	4,89	-0,02
20,31	20,26	0,05				4,93	4,88	0,05
19,92	19,88	0,04				5,12	5,16	-0,04
						4,93	4,90	0,03
						4,99	4,90	0,09
						5,21	5,22	-0,01
						5,03	4,98	0,05
						5,01	5,05	-0,04
						4,82	4,87	-0,05
						4,97	4,94	0,03
Total		-0,04			0,043			0,56
dk		-0,004			0,0140			0,035

Bias yang dihasilkan : $\hat{D} = \hat{D}_1 - \hat{D}_2 - \hat{D}_3$

$$D_1 = (4000)(0,040) = -16$$

$$D_2 = (7500)(0,0132) = 105$$

$$D_3 = (10000)(0,034) = 350$$

$$D = -16 - 105 - 350 = -471 \text{ Kg}$$

Variansi dari D dihitung dengan persamaan (9) diperoleh

$$\sigma_{\hat{D}} = 840 \text{ kg U}$$

Karena $\hat{D} = -471 \text{ kg U}$ adalah di dalam standar deviasi nol maka tidak ada bias dalam pelaporan MUF.

Dengan mengetahui statistik yang digunakan dalam mendeteksi kehilangan bahan nuklir tingkat fasilitas dapat mengurangi bentuk-bentuk penyimpangan dalam pelaporan termasuk untuk mengkoreksi adanya kasus pencurian bahan nuklir dari fasilitasnya.

KESIMPULAN

Pelacakan penggunaan bahan nuklir untuk tujuan di luar tujuan damai merupakan perhatian utama Badan Tenaga Atom International IAEA sehingga setiap negara yang menjadi anggota IAEA wajib melaporkan kondisi bahan nuklirnya. Untuk mencegah niat tersembunyi melakukan pencurian bahan nuklir telah dipelajari tiga skenario pencurian dan teknik pelacakannya yaitu dengan menggunakan metode statistik dalam inspeksi atribut dan inspeksi variabel.

Untuk fasilitas MBA RI-C maka teknik pelacakan penyimpangan bahan nuklirnya yang ada sekarang cukup dilakukan dengan inspeksi atribut yaitu dengan melakukan pengukuran sederhana terhadap 64 item penyimpanan *enriched uranium*. Sedangkan untuk fasilitas yang mengelola bahan nuklir yang cukup besar seperti yang diuraikan dalam fasilitas untuk simulasi maka pencurian secara pelan-pelan sangat memungkinkan terjadi tanpa diketahui inspektur. Hal ini bisa terjadi bila metoda inspeksi yang digunakan dengan pendekatan atribut. Akan tetapi dengan metode inspeksi variabel, pelacakan terhadap pencurian dalam jumlah kecil dapat dilacak.

Dengan dipahaminya teknik pelacakan yang dilakukan oleh Inspektur IAEA maka operator fasilitas dapat memperbaiki kinerja pengamanannya penyimpanan dan pelaporan sehingga dan secara mandiri dapat memeriksa adanya kehilangan bahan nuklir atau tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surat Keputusan Kepala Bapeten No. 13/Ka-Bapeten/VI-99 tentang Sistem Pertanggung Jawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir.
- [2] IAEA, " Safeguard Training Course," Modul 4, WINA, 1987
- [3] IAEA, " STM," Volume 3,
- [4] Karsono Linggo, " Rancangan Inspeksi ," Lokakarya Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir, 1996.