

METODA BIOASSAY URANIUM DALAM URIN DENGAN PENCACAHAN NETRON KASIP

Suratman, Purwanto, Sukarman Aminjoyo

PPNY-BATAN, Jl. Babarsari P>O. Box 1008, Yogyakarta, 55010

ABSTRAK

METODA BIOASSAY URANIUM DALAM URIN DENGAN PENCACAHAN NETRON KASIP. Telah dipelajari metoda bioassay uranium dalam urin dengan pencacahan netron kasip. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan metoda bioassay uranium dalam urin, dan menentukan dosis radiasi interna pekerja radiasi. Dalam penelitian ini dilakukan bioassay urin yang terkontaminasi buatan uranium dengan berat bervariasi. Uranium dalam urin diiradiasi di dalam teras reaktor Kartini lewat sistem pneumatik. Neutron kasip yang dihasilkan dicacah dengan alat cacah neutron BF3. Tersedia metoda bioassay uranium dalam urin, dengan temuan kembali bioassay antara 69,8-88,8 %, simpangan baku lebih kecil dari pada 10%, deteksi minimum 0,387 ug.

ABSTRACT

BIOASSAY METHOD FOR URANIUM IN URINE BY DELAY NEUTRON COUNTING. A bioassay method for uranium in urine by neutron counting has been studied. The aim of this research is to obtain a bioassay method for uranium in urine which is used for the determination of internal dose of radiation workers. The bioassay was applied to the artificially uranium contaminated urine. The weight of the contaminant was varied. The uranium in the urine was irradiated in the Kartini reactor core, through pneumatic system. The delayed neutron was counted by BF3 neutron counter. Recovery of the bioassay was between 69.8-88.8 %, standard deviation was less than 10 % and the minimum detection was 0.387 ug.

PENDAHULUAN.

Dalam rangka pelaksanaan SK. Dirjen BATAN No. PN. 03/160/DJ/ 89, tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi⁽¹⁾, perlu tersedia metoda-metoda pemantauan dosis radiasi interna perorangan. Untuk itu telah dipelajari beberapa metoda bioassay radionuklida dalam urin dan cara perhitungan dosis radiasi interna. Metoda pemantauan dosis radiasi interna perorangan tergantung dari jenis radionuklida kontaminan dalam tubuh. Untuk radionuklida kontaminan pemancar gama, dilakukan dengan pencacahan seluruh tubuh dengan detektor kelip di dalam ruang yang terlindung dari radiasi luar. Untuk radionuklida kontaminan pemancar alfa atau beta dilakukan dengan bioassay cuplikan hasil ekskresi dari tubuh misal, urin, tinja, napas, dahak, keringat, darah dan sebagainya. Dari hasil pemantauan dengan metoda pencacahan seluruh

tubuh atau dari bioassay cuplikan hasil ekskresi tubuh, dapat ditentukan kandungan radionuklida dalam tubuh dan besarnya dosis radiasi interna. Untuk bioassay cuplikan hasil ekskresi, bahan cuplikan yang akan dianalisis tergantung pada bentuk kimia, fisika, sifat metabolisme dan rute kontaminasi radionuklida dalam tubuh.⁽²⁾

Pada penelitian ini dilakukan penentuan metoda bioassay uranium dalam urin dengan pengukuran netron kasip. Uranium lebih sebagai racun kimia dari pada sebagai bahaya radiasi. Seperti uranium alam yang mempunyai spesifik aktivitas yang rendah, kerusakan kimia pada ginjal lebih penting dari pada kerusakan radiasi pada jaringan tubuh, dari masukan senyawa uranium alam dalam darah. Senyawa uranium larut dan tidak larut diabsorpsi ke dalam aliran ekstraseluler setelah masukan, lewat pernapasan. Kebanyakan kontaminasi interna uranium pekerja radiasi

dihasilkan dari pemapasan dalam bentuk oksida. Selain itu senyawa uranil dapat masuk tubuh lewat kulit. Dalam proses metabolisme, setelah 24 jam masukan uranium dalam tubuh ke dalam aliran ekstraseluler, setengah sampai tiga perempatnya diekskresikan lewat urin.

Organ kritis U-235, U-238 dan U-nat adalah ginjal, U-233 dan U-234 adalah tulang.⁽³⁾ Dari uranium yang diekskresikan lewat urin ini dapat ditentukan kandungan uranium dalam tubuh. Untuk menentukan uranium yang diekskresikan dari tubuh diperlukan metoda bioassay uranium dalam urin.

Analisis radioisotop dalam urin biasanya memerlukan langkah pemisahan kimia yang panjang sehingga banyak kehilangan. Cara pemisahan yang pendek untuk uranium dicapai dengan ekstraksi pelarut dan penukar ion, sedangkan penentuan uranium dengan pencacahan alfa atau fluorimetri. Untuk mengurangi kehilangan dari metoda-metoda diatas, digunakan metoda analisis uranium dengan pencacahan netron kasip yang dihasilkan setelah pembelahan U-235 di dalam fluks netron termal.⁽⁴⁾ Pada metoda ini tidak diperlukan pemisahan kimia, dimana urin diuapkan, residu diiradiasi dalam reaktor. Netron kasip yang dihasilkan dari hasil belah uranium dicacah dengan pencacah netron. Dari hasil cacah netron kasip dapat dihitung kandungan uranium di dalam urin.

Tujuan penelitian ini adalah penyediaan metoda bioassay uranium dalam urin dengan pencacahan netron kasip untuk penentuan dosis radiasi interna.

Fasilitas Iradiasi.

Fasilitas iradiasi yang digunakan adalah reaktor Kartini di Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta. Pada operasi reaktor dengan daya 100 kwatt, fluks netron yang tersedia pada kepala tabung tempat kapsul (rabit) diiradiasi adalah netron termal $0,7 \times 10^{12}$ n/cm².detik dan netron cepat $1,47 \times 10^{12}$ n/cm².detik. Pada iradiasi cuplikan, kapsul atau pembawa cuplikan dikirim ke teras reaktor melalui sistem tabung pneumatik yang dapat dilakukan secara otomatis, pada ring F13. Kapsul memerlukan waktu 1,5 detik untuk kembali melewati sepanjang tabung sistem pneumatik, setelah iradiasi ke fasilitas pencacahan netron.

Fasilitas pencacahan netron kasip terdiri dari 3 buah detektor BF₃, yang terpasang simetri dan alat cacah analisis salur tunggal (SCA).⁽⁵⁾

Netron Kasip.

Pada pembelahan isotop dapat belah seperti Th-232, U-235, U-238 dan Pu-239, beberapa hasil belah yang terjadi adalah pemancar netron, netron ini yang disebut sebagai netron kasip. Pada pencacahan netron kasip, dari jumlah netron yang tercacah dapat dihitung kandungan isotop belah yang ada. Dua isotop uranium yang biasa berhubungan dengan analisis urin adalah U-235 dan U-238. Pembelahan U-235 dengan netron termal dan U-238 dengan netron cepat.

Pada iradiasi dengan fasilitas pneumatik kedua jenis netron ada, sehingga netron kasip yang terjadi berasal dari U-235 dan U-238, masing-masing 98,81 % dan 1,19 %.

Untuk uranium alam, ada 6 grup netron kasip yang terjadi dari isotop-isotop tersebut, umur paro netron sekitar 54 detik dan 22 detik terutama dari Br-87 dan I-137.⁽⁴⁾

Cara Perhitungan Dosis Radiasi Interna.

Menurut ICRP no.10⁽³⁾, fraksi radionuklid yang ada dalam tubuh atau retensi pada hari ke setelah terjadi serapan sebesar q_0 Bq adalah :

$$R(t) = \frac{q(t)}{q(0)} \quad (1)$$

dimana

$q(t)$ = jumlah radionuklida dalam tubuh pada hari ke t setelah penyerapan (Bq).

$q(0)$ = jumlah radionuklida yang terserap tubuh. (Bq).

Radionuklida dalam tubuh meluruh dengan waktu paro efektif, maka Retensi $R(t)$ radionuklida dalam tubuh pada hari ke t :

$$R(t) = q(0) \exp(-\lambda_r t) \sum K_i \exp(-\beta_i t) \quad (2)$$

dimana

λ_r = konstanta peluruhan = $0,693/T_r$

K_i fraksi radionuklida dalam kompartemen ke

B_i = konstante eliminasi biologis pada kompartemen ke $i = 0,693/T_i$

t = hari ke t setelah pemasukan.

Setelah serapan tunggal q_0 Bq, radionuklida dalam tubuh berubah dengan waktu tergantung pada ekskresi (biologi) dan peluruhan radioaktif.

$$\frac{dq(t)}{dt} = -E(t) - \lambda_r q(t) \quad (3)$$

dimana, $E(t)$ = ekskresi per hari pada hari ke t (Bq/hari)

Fraksi yang diekskresi pada hari ke t dari serapan q_0 Bq adalah:

$$Y(t) = \frac{E(t)}{q_0} \quad (4)$$

Retensi radionuklida dalam tubuh berubah dengan waktu dari persamaan 1 dan 3 didapatkan

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d(q(t)/q_0)}{dt} = \frac{dq(t)/dt}{q_0}$$

$$\frac{E(t)}{q_0} - \lambda_r \frac{q(t)}{q_0}$$

dari persamaan 1 dan 4 diperoleh

$$\frac{dR(t)}{dt} = -Y(t) - \lambda_r R(t)$$

Jika radionuklida umur paro yang panjang

$$\lambda_r = \frac{0,693}{T_r} \approx 0$$

T_r : Umur paro, maka fraksi ekskresi total per hari

$$Y(t) = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Jika yang diukur adalah ekskresi melalui urin maka :

$$Y_u(t) = -f_u \frac{dR(t)}{dt}$$

dimana, $Y_u(t)$ = fraksi ekskresi melalui urin

Dosis radiasi interna yang diakibatkan oleh serapan akut mula-mula sebesar $3,7 \times 10^4$ Bq dalam tubuh :

$$D = Q \times 51,2 \times \frac{\epsilon}{m} \text{ rem} \quad (5)$$

dimana,

Q = Integral waktu dari kontaminasi interna Bq-hari

$3,2 \times 10^9$ = jumlah disintegrasi dari $3,7 \times 10^4$ Bq/hari

$1,6 \times 10^{-6}$ = erg per Mev

100 = erg per gram jaringan per rad

m = masa organ kritis - gram

ϵ = $\sum E.F.(RBE)_n$, absorpsi tenaga efektif/disintegrasi

Integral waktu dari kontaminasi interna

$$Q = \int_0^t f_2 q(t) dt \text{ dari persamaan 1 maka,}$$

$$= \int_0^t f_2 q_0 R(t) dt = f_2 q_0 \int_0^t R(t) dt \quad (6)$$

dimana, f_2 = fraksi radionuklida dalam organ kritis dari radionuklida seluruh tubuh, diperoleh dari ICRP no.10. Untuk dosis interna integral waktu dari kontaminasi dihitung dari 0 sampai 50 tahun setelah pemasukan. 50 tahun adalah waktu umur kerja (working life time). (ICRP 26) (6)

TATA KERJA

Pada penelitian ini dilakukan optimasi metoda (waktu iradiasi, waktu pencacahan), pembuatan cuplikan, percobaan aktivasi netron lewat pneumatik, pencacahan netron kasip dan cara perhitungan dosis radiasi interna.

Alat Yang Digunakan.

- Fasilitas iradiasi reaktor Kartini
- Alat pneumatik
- Alat cacah netron
- Kapsul polietilen (rabit)
- Penangas air

Kompur listrik

Alat-alat gelas.

Bahan Yang Digunakan

- Vial polietilen

- Larutan baku uranil nitrat (26,13 mg $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, dilarutkan menjadi 100 ml larutan dengan aquades)

Urin

Cara Kerja.

1. Optimasi metoda.

a. Optimasi waktu iradiasi

Diambil larutan baku sebanyak 100 ul dimasukkan kedalam vial dan ditambah aquades 5 ml, dibuat larutan yang sama sebanyak 9 buah. Tutup vial disolder hingga tidak bocor, kemudian dimasukkan ke dalam kapsul untuk mengirim cuplikan ke dalam reaktor. Kapsul dimasukkan ke dalam reaktor dengan alat pneumatik dan diiradiasi masing masing selama 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 menit. Kapsul dikeluarkan dari dalam reaktor kemudian dimasukkan ke dalam alat cacah netron dan masing-masing dicacah netron kasipnya selama 1 menit, tanpa waktu tunda pencacahan.

b. Optimasi waktu pencacahan.

Seperti pada cuplikan a diatas, waktu iradiasi 5 menit, pencacahan netron kasip masing-masing selama 1, 2, 3, 4, dan 5 menit. Dari hasil pencacahan netron ditentukan waktu pencacahan yang menghasilkan cacah netron terbanyak dalam 1 menit.

2. Pembuatan cuplikan.

Pada pembuatan uranium baku dalam urin, diambil urin sebanyak 100 ml dari pekerja yang tidak bekerja dengan uranium, masing-masing dimasukkan ke dalam cawan porselin, ditambah larutan uranium baku dengan variasi berat dari 0,193-49,56 ug. Urin dikeringkan dengan penangas air, residu dimasukkan ke dalam vial dengan aquades 5 ml. Tutup vial disolder hingga tidak bocor, dimasukkan kedalam kapsul untuk diiradiasi. Disamping pembuatan cuplikan uranium dalam urin, dibuat pula cuplikan uranium baku langsung ke dalam vial dengan berat $U=12,39$ ug sebagai pembanding dan blangko dibuat dengan mengeringkan urin tanpa penambahan uranium baku.

3. Aktivasi netron dan pencacahan cuplikan.

Cuplikan urin dalam kapsul dikirim ke fasilitas iradiasi dengan pneumatik, masing-masing diiradiasi selama 5 menit. Kapsul dikeluarkan dengan pneumatik dan dimasukkan ke dalam pencacah netron, kemudian dicacah selama 1 menit. Demikian pula dilakukan hal yang sama untuk cuplikan blangko dan larutan baku uranium. Perjalanan dari fasilitas iradiasi sampai ke pencacahan memerlukan waktu 1,5 detik. Dari hasil cacah netron kasip dibuat grafik antara cacah netron dengan berat uranium dan dihitung temuan kembali dengan membandingkan dengan hasil pencacahan larutan uranium baku.

4. Cara perhitungan.

a. Cara perhitungan temuan kembali (recovery).

$$\text{Temuan kembali} = \frac{CU_{bk \text{ urin}} - C_{bl}}{CU_{bk}} \times 100\%$$

dimana

$CU_{bk \text{ urin}}$ = Cacah netron per menit uranium baku dalam urin

CU_{bk} = Cacah netron per menit uranium baku.

bl = Cacah netr menit blank

b. Cara perhitungan berat uranium dalam cuplik urin.

Berat uranium dalam cuplikan urin dihitung dengan membandingkan hasil pencacahan netron kasip dengan uranium baku yang telah diketahui beratnya.

$$\text{Berat } U \text{ dalam urin} = \frac{C_{cup}}{CU_{bk}} \times \text{berat } U_{bak}$$

dimana

C_{cup} = Cacah netron per menit dalam cuplikan.

CU_{bk} = Cacah netron per menit uranium baku.

c. Cara perhitungan dosis interna uranium dalam tubuh dari aktivitas kecepatan ekskresi lewat urin.

Untuk $U-233$, $U-234$, organ kritis tulang, masa organ kritis 7000 gram, $E = 0,25$ dan $0,24$ Mev.

50th

$$Q = \int_{1 \text{ hari}}^{50 \text{ th}} t^{-0,5} dt = 268 \text{ uCi-hari} = 9,9 \times 10^6 \text{ Bq-hari}$$

Dosis dalam tubuh dari serapan uCi ($3,7 \times 10^4$ Bq)

$$^{-233}D = 9,9 \times 10^6 \times \frac{52,2}{3,7 \times 10^4} \times \frac{250}{7000} = 490 \text{ rem}$$

$$U-234 D = 9,9 \times 10^6 \times \frac{5,12}{3,7 \times 10^4} \times \frac{240}{7000} = 470 \text{ rem}$$

Untuk U-235, U-238 dan U-nat, organ kritis adalah ginjal, masukan yang diperbolehkan menurut ICRP No.6. lewat pernapasan 2,5 mg dalam 1 hari, lewat pencernaan 150 mg dalam 2 hari.

Untuk serapan sebesar qo Bq, maka dosis interna pada organ kritis tulang adalah:

$$U-233 D = \frac{490}{\dots} \times \frac{E(t)}{Yu(t)} \text{ rci}$$

$$U-234 D = \frac{470}{3,7 \times 10^4} \times \frac{E(t)}{Yu(t)}$$

dimana E(t) = kecepatan ekskresi lewat urin pada t hari, diperoleh dari hasil bioassay, Yu(t) = fraksi ekskresi lewat urin.

Yu(t) = 0,8 (hari pertama)

Yu(t) = 0,1 t^{-1,5} (untuk t > 1 hari)

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Pada penelitian ini penentuan waktu iradiasi sesuai dengan acuan (5) selama 5 menit, maka untuk selanjutnya waktu iradiasi selama 5 menit. Dari tabel 1, hasil pencacahan netron kasip dari aktivasi uranium baku dengan variasi waktu pencacahan 1, 2, 3, 4 dan 5 menit, terlihat hasil cacah netron per menit semakin lama waktu pencacahan semakin rendah. Maka dipilih harga cacah netron per menit yang tertinggi, ialah pencacahan selama 1 menit tanpa waktu tunda pencacahan.

Pada iradiasi uranium dengan menggunakan fasilitas pneumatik dan pencacahan dengan BF3, hasil cacah untuk berat uranium baku yang sama, pada waktu yang berbeda tidak selalu sama. Hal ini kerana kemungkinan letak kapsul didalam teras reaktor tidak persis sama, fluks netron yang kurang stabil dan kestabilan alat cacah netron sendiri. Untuk itu pada iradiasi cuplikan pada satu seri percobaan, pada saat tersebut selalu disertai dengan blangko dan uranium baku sebagai pembanding.

Tabel 1: Hasil pencacahan netron kasip dari aktivasi uranium baku dengan variasi waktu pencacahan.

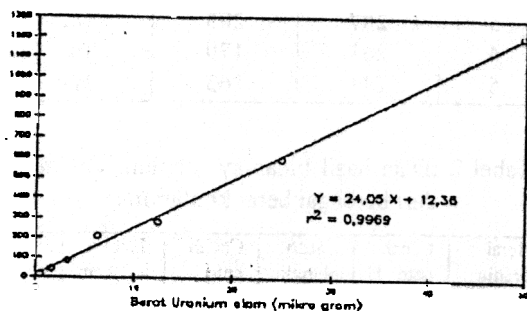
waktu cacah (menit)	Cacah neto netron kasip (Cpm)		
	U baku 1	U baku 2	U baku 3
1	517	365	358
2	349	247	219
3	287	205	162
4	261	179	149
5	241	163	124

Tabel 2 : Data hasil bioassay uranium dalam urin dari berbagai berat kontaminan.

Berat uranium dalam mula-mula (ug)	Cacah neto U alam dalam urin (n/mnt)	Cacah blangko (n/mnt)	Cacah neto U alam baku (n/mnt)	Temuan kemali (%)	Temuan kembal i rata-rata (%)
49,56	1229	59	1736	67,4	69,8±1,8
49,56	1270	59	1736	69,7	
49,56	1269	59	1736	69,7	
49,56	1317	59	1736	72,5	
24,78	699	85	798	76,9	74,8±1,4
24,78	678	85	798	74,3	
24,78	668	85	798	73,0	
24,78	683	85	798	74,9	
12,39	349	85	399	66,2	70,8±4,6
12,39	396	85	399	77,9	
12,39	353	85	399	67,2	
12,39	372	85	399	71,9	
6,195	273	85	199	94,5	88,8±6,7
6,195	255	85	199	85,4	
6,195	276	85	199	95,9	
6,195	243	85	199	79,4	
3,097	137	59	108	72,2	80,5±7,1
3,097	158	59	108	91,7	
3,097	143	59	108	77,8	
3,097	146	59	108	80,5	
1,548	93	59	54	63,0	71,6±6,8
1,548	102	59	54	79,6	
1,548	98	59	54	72,2	
0,387	149	134	18	83,3	83,3±4,5
0,387	148	134	18	77,8	
0,387	150	134	18	88,9	
0,193	197	188	6	150*	
0,193	163	188	6	<0*	
0,193	172	188	6	<0*	

*) Hasil cacah netron tidak tentu dan lebih kacil dari pada cacah blangko.

Dari tabel 2, terlihat hasil percobaan bioassay uranium baku dalam urin dengan variasi berat uranium yang dimasukkan dalam urin. Dari percobaan ini diperoleh temuan kembali (recovery) metoda rata-rata antara 69,8-88,8 %, dengan simpangan baku lebih kecil dari 10 % dan deteksi minimum 0,387 ug, maka metoda bioassay uranium dalam urin ini cukup baik.



Dari gambar 1, kurva hubungan antara cacah netron kasip hasil aktivasi dengan berat uranium baku mula-mula, terlihat ada hubungan yang linier dengan harga koefisien korelasi $r = 0,9984$. Hal ini menunjukkan bahwa metoda ini mempunyai kedapat ulangan yang baik dan memberi hasil cacah yang selalu proporsional untuk setiap berat uranium kontaminan dalam urin.

Metoda bioassay uranium dengan pencacahan netron kasip pada penelitian ini, langkah percobaan pendek hingga waktu yang diperlukan relatif singkat, kurang lebih 3 jam.

Bila deteksi minimum yang dapat diperoleh dengan metoda ini dibandingkan dengan deteksi minimum dengan metoda polarografi sebesar 0,1 mg uranium ⁽⁷⁾, dan dengan metoda fluoroskopi sekitar 1 ug/l ⁽⁸⁾, maka metoda bioassay uranium dengan pencacahan netron kasip ini lebih baik.

KESIMPULAN.

Tersedia metoda bioassay uranium dalam urin dengan pencacahan netron kasip untuk penentuan dosis radiasi interna. Hasil temuan kembali rata-rata dari bioassay urin antara 69,8-88,8 %, simpangan baku dibawah 10 %, dengan kedapat ulangan yang baik. Batas deteksi minimum 0,387 ug ($4,9 \times 10^3$ Bq), sehingga mampu mengukur aktivitas uranium dibawah batas masukan tahunan yang diijinkan lewat pernapasan sebesar 5×10^4 Bq. Metoda bioassay uranium dalam urin dengan pencacahan netron

kasip untuk penentuan dosis radiasi interna cukup sederhana dan dapat dilakukan sekitar 3 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Terima kasih diucapkan kepada saudara Agnes Murwanti yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA.

- BATAN, Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, SK.DIRJEN. BATAN, Nomor : PN 03/160/DJ/89.
- FIZGERALD.J.J, "Applied Radiation Protection and Control", Gordon and Breach, 1969.
- IAEA, Evaluation Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure ICRP Publication 10, April 1967.
- BROOKES.I.R., "The Determination of Urine By Delayed Neutron Counting", Proceeding of a Symposium IAEA, Vienna, 1965.
- SOELEMEN., "Verifikasi Sistem Cacah Netron Kasip dan Analisis Pengaktipan Neutron", Prosiding Pertemuan dan PPNY-BATAN, Yogyakarta 27-29 April 1993.
- IAEA, Recommendation of The Internal Contamination on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, New York, 1977.
- SURATMAN, M.YAZID, "Metoda Analisis Uranium Dalam Urin", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY BATAN, Yogyakarta 26-28 April 1989.
- SUTARMAN. dkk, "Penentuan Konsentrasi Uranium Dalam Urin Dengan Metode Fluorometrik", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY-BATAN, Yogyakarta 21-23 Maret 1990

TANYA JAWAB:

Sutjipto :

- Mengingat tujuan penelitian untuk mendapatkan metoda bioassay, alangkah baiknya dalam

makalah perlu dimasukkan berapa harga ketepatan (presisi) serta ketelitian metoda yang digunakan?

Purwanto :

Saran diperhatikan.

Bunawas :

Bunawas

- Menurut kami, sampel urin non PR, tidak dapat digunakan sebagai blanko, karena urin tersebut juga telah mengandung U yang berasal dari minuman dan makanan. Mohon tanggapan?

- Mohon dijelaskan alat timbang apa yang digunakan, sehingga mampu mengukur sampai 0,193 μ gram?

- Limit deteksi sebesar 0,387 μ gram untuk selang kepercayaan berapa % (berapa σ)?

Purwanto:

- Karena urin non pekerja radiasi juga mengandung U, maka untuk menentukan harga U sebenarnya perlu dikurangi/dikoreksi dengan harga U dari blanko.

- Untuk mengukur berat sampai orde 0,193 μ gram dilakukan dengan pengenceran.

- Limit deteksi untuk selang kepercayaan 95 % (3σ)