

PENENTUAN ^{228}Th , ^{226}Ra DAN ^{40}K DALAM TANAH MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA IN-SITU

Bunawas, Wahyudi

P3KRBIN – BATAN, Pasar Jum'at, Jakarta Selatan

Syarbaini, Untara

P2PLR – BATAN, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

PENENTUAN ^{228}Th , ^{226}Ra DAN ^{40}K DALAM TANAH MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA IN-SITU. Telah dilakukan pengukuran radionuklida alam dalam tanah latosol di enam lokasi sekitar PPTN Serpong menggunakan spektrometer gamma portabel Inspector dengan detektor Germanium kemurnian tinggi (HPGe) dengan efisiensi relatif 26%. Data radionuklida ^{228}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K dapat diperoleh dalam waktu sekitar 4 jam, jauh lebih singkat dibandingkan analisis laboratorium yang memerlukan waktu 3 minggu. Hasil pengukuran in-situ dibandingkan dengan laboratorium menunjukkan perbedaan antara 3,6% s/d 56,2% untuk keenam kondisi tanah yang diukur. Analisis pada data aktivitas spesifik menggunakan uji hipotesa statistik, memperlihatkan ketidakbergantungan lokasi untuk ^{228}Th dan ^{226}Ra , sedangkan untuk ^{40}K bergantung pada lokasi.

ABSTRACT

DETERMINATION OF ^{228}Th , ^{226}Ra AND ^{40}K IN SOIL USING IN-SITU GAMMA SPECTROMETER. Determination of natural radionuclide in latosol soil at six locations around PPTN Serpong by using Inspector portable gamma spectrometer with high purity Germanium detector (HPGe) which has 26% relative efficiency had been obtained. Radionuclides data of ^{228}Th , ^{226}Ra and ^{40}K were obtained in 4 hours, shorter than laboratories analysis which needed 3 weeks. The differences between in-situ measurement and laboratory were 3,6% to 56,2% for six conditions of soil measured. According to the specific activity data analysis using statistic hypothesis, the result shows that the activity of ^{228}Th and ^{226}Ra are independent on location, but ^{40}K is dependent on location.

PENDAHULUAN

Pengukuran radionuklida alam, khususnya yang berasal dari peluruhan deret uranium dan thorium yaitu ^{226}Ra dan ^{228}Th secara langsung sulit dilakukan, karena kedua isotop memancarkan radiasi gamma dengan intensitas rendah $< 2,5\%$. Selain dari pada itu, ada kemungkinan tumpang tindih (*overlap*) dengan energi dari ^{235}U untuk pengukuran ^{226}Ra pada energi 186,5 keV.

Metode yang biasa digunakan untuk pengukuran radionuklida alam dalam tanah maupun air adalah dengan cara pencuplikan sampel, dimasukkan dalam wadah yang kedap dan ditunda selama 30 hari, baru dilakukan pengukuran^[1,2]. Metode ini tidak praktis dan lambat, untuk jumlah sampel yang banyak. Perlu diketahui bahwa, ^{226}Ra dan ^{228}Th dalam peluruhannya menghasilkan gas radon (^{222}Rn dengan $T_{1/2} = 3,825$ hari dan ^{220}Rn dengan $T_{1/2} = 56$ detik) dan gas tersebut meluruh

menghasilkan ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Pb , ^{212}Bi dan ^{208}Tl . Oleh karena itu dimungkinkan pengukuran dengan metode lain yang lebih cepat. Seperti yang diusulkan oleh Van Cleef dengan cara mencuplik tanah dan langsung diukur^[3]. Metode ini cepat, namun ada kelemahan, karena perlu pencuplikan dan hasil pengukurannya lebih rendah (*under estimate*) terhadap pengukuran laboratorium, karena saat dicuplik gas radon sebagian lepas dari contoh tanah.

Untuk mengatasi masalah diatas, telah dikembangkan orang metode pengukuran secara *in-situ* menggunakan spektrometer gamma *portable* dengan hasil pengukuran yang cukup baik^[4]. Di laboratorium lingkungan P3KRBIN Batan telah berhasil dilakukan kalibrasi spektrometer gamma *in-situ*, mengacu metode Helfer dan Miller^[5]. Untuk mengetahui keabsahan hasil kalibrasi, maka dilakukan pengukuran radionuklida alam (^{228}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K) secara *in-situ* dan hasilnya dibandingkan dengan pengukuran di laboratorium.

TATA KERJA

Lokasi Pengukuran

Pengukuran radionuklida alam di tanah secara *in-situ* di lakukan di kawasan sekitar PPTN Serpong. Untuk kondisi tanah yang sama yaitu *Latosol* dengan kondisi lingkungan yang berbeda yaitu: lapangan bola Batan Indah, kebun karet Batan Indah, lapangan helikopter PUSPIITEK, lapangan dekat P2TBDU, lapangan upacara PPTN Serpong, antara P2TBDU dan P2PLR.

Pengukuran Dengan Spektrometer Gamma *In-situ*

Detektor dengan bantuan tripot ditempatkan pada jarak 1 m dari permukaan tanah. Sistem spektrometer gamma *Inspector* model 1200 buatan *Canberra* dihidupkan dan melakukan pencacahan selama 4 jam (14.400 detik). Setelah selesai pencacahan, spektrum puncak radiasi gamma dari ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Pb , ^{212}Bi dan ^{208}Tl serta ^{228}Ac dan ^{40}K dianalisis dengan program *Genie-PC*, sehingga diperoleh data cacah spesifik (N_i) dan dilakukan perhitungan konsentrasi spesifik^[5].

$$C_i = \frac{N_i}{T \cdot \frac{N_f}{C}} \text{ (pCi/g)} \quad (1)$$

$$\Delta C_i = \frac{\Delta N_i}{T \cdot \frac{N_f}{C}} \text{ (pCi/g)} \quad (2)$$

Untuk nuklida yang memancarkan radiasi gamma lebih dari satu energi (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{208}Tl) konsentrasi spesifik rata-rata (C_r) dihitung :

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i / \sigma_{C_i}^2)}{\sum_{i=1}^n (1 / \sigma_{C_i}^2)} \quad (3)$$

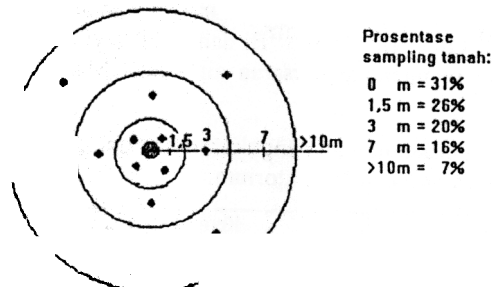
$$\Delta C_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n (1 / \sigma_{C_i}^2)} \quad (4)$$

dengan T adalah lama pencacahan, N_f/C adalah faktor kalibrasi spektrometer gamma *in-situ* dan ΔC_i adalah ketidak pastian konsentrasi rerata.

Pengukuran di Laboratorium^[1,2]

Dilakukan pengambilan contoh tanah dibawah detektor dengan titik pengambilan seperti pada Gambar 1, dengan jarak 0, 1,5; 3, dan 7 m dari pusat posisi detektor. Setiap radius diambil empat

titik sampling dengan kedalaman tanah 0-20 cm, prosentase berat contoh 31%, 26%, 20%, 16% dan 7% untuk jarak 0, 1,5; 3, dan 7 m, sesuai dengan prosentase radiasi gamma yang mengenai detektor^[4].



Gambar 1. Pandangan atas permukaan tanah yang dilakukan pengukuran secara *in-situ* dan lokasi pengambilan contoh tanah.

Di laboratorium contoh tanah ditimbang, dikeringkan selama 24 jam pada suhu 120°C dan dimasukkan ke dalam wadah beker *Marinelli* 1 liter dan ditimbang lagi. Kemudian di lem *araldhit* dan ditunda selama 30 hari, agar ^{226}Ra , dan ^{228}Th berada dalam keadaan kesetimbangan radioaktif dengan anak luruhnya dan dilakukan pencacahan selama 17 jam dengan spektrometer gamma. Detektor *HPGe* dikalibrasi dengan sumber standar campuran dengan $\rho = 1,1 \text{ g/cc}$ buatan *Amersham*.

Mengingat kerapatan (ρ) antara sumber standar dan contoh tidak sama, dimana $\rho_{\text{std}} < \rho_{\text{tanah}}$, maka hasil pengukuran perlu dikoreksi terhadap perbedaan kerapatan^[6].

$$C_i = \frac{(N_T - N_{Bg}) \mu_m \cdot \rho \cdot x}{E.T.M. [1 - e^{-\mu_m \cdot \rho \cdot x}]} \quad (5)$$

$$\mu_m = 1,287 E_\gamma^{-0,435} \quad (6)$$

dengan N_T dan N_{Bg} adalah cacah total dan latar, E adalah efisiensi T adalah lama pencacahan, M adalah berat contoh, ρ adalah kerapatan tanah, x adalah tebal contoh tanah, μ_m adalah koefisien serapan massa dan E_γ adalah energi radiasi gamma.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi Pengukuran

Dalam pengukuran secara *in-situ* untuk kondisi cuaca cerah/mendung, asumsi ^{226}Ra dan ^{228}Th di tanah dalam keadaan kesetimbangan tidak tepat, karena ada sebagian gas radon dan thoron yang lepas ke udara bebas dengan fraksi lepasan sekitar 30%^[7]. Oleh karena itu, hasil pengukuran perlu dibagi dengan faktor 0,7. Sedang untuk

kondisi hujan sebelum pengukuran dilakukan, dianggap ^{226}Ra dan ^{228}Th berada dalam kesetimbangan radioaktif dengan anak luruhnya. Namun perlu ada koreksi karena adanya tambahan laju cacah dari pengendapan luruhan radon dan thoron (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Pb , ^{212}Bi dan ^{208}Tl) dari udara yang ikut mengendap bersama air hujan. Menurut

Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa hasil pengukuran *in-situ* untuk radionuklida alam dengan diasumsikan homogen di tanah tidak berbeda jauh dengan pengukuran laboratorium dengan perbedaan antara (-9,8) - 13,1%; (-20,5) - 5% dan (-5,4) - 18,4% untuk ^{228}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K , untuk kondisi cerah, (Gambar 2)

Tabel 1. Perbandingan pengukuran radionuklida alam secara *in-situ* dan laboratorium.

No.	Kondisi tanah dan lingkungan	Nuklida	Koreksi analisis				Perbedaan [(Ins.-Lab)/Lab.]x100%
			In-situ (Bq/kg)		Lab. (Bq/kg)		
			Tanpa	Pakai	Tanpa	Pakai	
1.	- Tanah latosol	²²⁸ Th	15,50	13,17	36,66	30,06	-56,2
	- Rumput tipis	²²⁶ Ra	39,87	33,88	32,16	26,37	+28,5
	- Hujan deras	⁴⁰ K	42,59	42,59	42,46	34,82	+22,3
	- Tanah lapang						
- ρ = 2,46 g/cc							
2.	- Tanah latosol	²²⁸ Th	19,81	28,31	39,67	31,73	-10,8
	- Rumput tebal	²²⁶ Ra	11,47	16,38	25,78	20,62	-20,5
	- Cuaca mendung	⁴⁰ K	42,59	42,59	43,87	35,97	+18,4
	- Hutan karet						
- ρ = 2,56 g/cc							
3.	- Tanah latosol	²²⁸ Th	18,57	26,53	36,72	29,37	-9,6
	- Rumput tebal	²²⁶ Ra	11,87	16,96	19,70	16,15	+5,0
	- Cuaca cerah	⁴⁰ K	41,88	41,88	53,90	44,19	-5,4
	- Tanah lapang						
- ρ = 2,52 g/cc							
4.	- Tanah latosol	²²⁸ Th	17,81	25,44	35,69	29,26	-13,1
	- Rumput tipis	²²⁶ Ra	16,18	23,11	27,21	22,31	+3,6
	- Hujan rintik ²	⁴⁰ K	27,41	27,41	31,41	25,75	+6,4
	- Tanah lapang						
- ρ = 2,52 g/cc							
5.	- Tanah latosol	²²⁸ Th	17,20	24,58	34,50	28,29	-13,1
	- Rumput tebal	²²⁶ Ra	11,87	16,96	18,75	15,37	+10,3
	- Cuaca mendung	⁴⁰ K	21,88	21,88	25,40	20,83	+5,0
	- Tanah lapang						
- ρ = 2,54 g/cc							
6.	- Tanah latosol	²²⁸ Th	20,29	28,98	38,20	31,32	-7,5
	- Rumput tebal	²²⁶ Ra	10,19	14,56	20,01	16,41	-11,3
	- Cuaca cerah	⁴⁰ K	30,03	30,03	33,75	27,67	+8,5
	- Tanah lapang						
- ρ = 2,48 g/cc							

Catatan : - Lama pengukuran secara *in-situ* 4 jam, dan laboratorium 17 jam.
- Nilai ketidakpastian pengukuran secara *in-situ* sekitar 10% dan laboratorium sekitar 8%.

Fujitaka, prosen fraksi penambahannya sekitar 15%, maka hasil pengukuran perlu di kalikan 0,85^[8].

Untuk pengukuran di laboratorium, dimana contoh tanah melalui proses pengeringan dan diayak, maka kerapatan tanah naik karena uap air dan humus dipisahkan. Oleh karena itu untuk kondisi tanah sebenarnya perlu dilakukan koreksi dengan dikalikan nilai moderat 0,82^[9].

Uji Banding Pengukuran

Hasil uji banding antara pengukuran *in-situ* dengan analisis di laboratorium, ditampilkan pada

Pengukuran secara *in-situ* pada saat hujan deras mempunyai perbedaan yang relatif kompleks, karena akan dipengaruhi proses difusi radon/thoron di tanah, sehingga asumsi kesetimbangan belum tentu benar bergantung pada porositas tanah dan curah hujan. hal ini teramati pada data No.1, dimana hasil pengukuran ^{228}Th lebih rendah (-56,18%). Ini mungkin terjadi karena umur paruh thoron yang pendek ~56 detik, sehingga gas tersebut sebelum mencapai permukaan tanah sudah meluruh dan distribusi tidak homogen^[7,10].

Hasil pengukuran pada lokasi No.2, diperoleh data lebih rendah untuk ^{226}Ra maupun ^{228}Th , hal ini karena adanya serapan diri dari pohon karet yang ada disekitar lokasi pengukuran yang berjumlah = 12 batang pada radius 12 m. Namun sebaliknya untuk pengukuran ^{40}K , akibat adanya pemupukan dan distribusinya hanya pada permukaan tanah (*plane*), sedangkan metode *in-situ* asumsinya terdistribusi homogen pada seluruh lapisan tanah^[7].

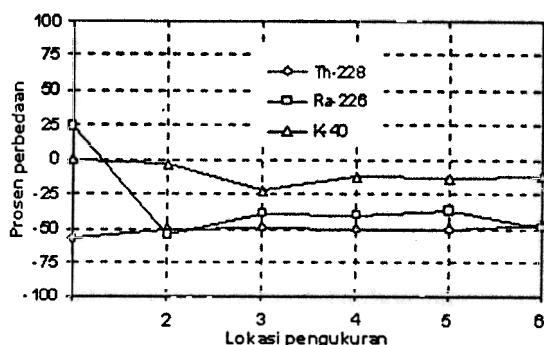
Data perbandingan yang baik juga diperlihatkan pada Tabel 2, dimana nisbah konsentrasi $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ dan $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ maupun $^{212}\text{Pb}/^{208}\text{Tl}$ secara teori dibandingkan dengan hasil pengukuran *in-situ* dan laboratorium. Nisbah konsentrasi $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ untuk pengukuran laboratorium lebih besar dari satu (>1), hal ini disebabkan oleh kontribusi cacahan dari ^{228}Ac dengan energi gamma 339 keV terhadap puncak energi gamma ^{214}Pb pada

energi 352 keV untuk pencacahan yang lama (17 jam) dengan contoh yang sedikit. Data ini memperkuat hasil pengukuran secara *in-situ*. Selain itu dalam orde yang sama dengan laporan peneliti lain^[11,12]

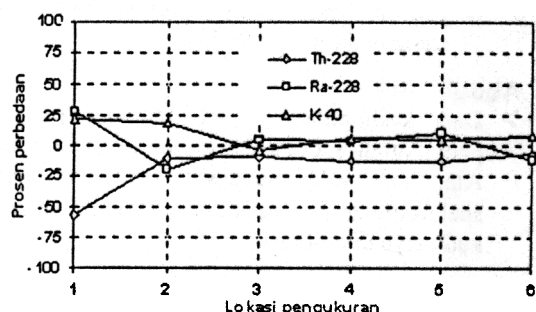
Tabel 2. Perbandingan nisbah konsentrasi $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$, $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ dan $^{212}\text{Pb}/^{208}\text{Tl}$ untuk penentuan ^{226}Ra dan ^{228}Th .

Metoda	$^{214}\text{Pb} / ^{214}\text{Bi}$	$^{212}\text{Pb} / ^{212}\text{Bi}$	$^{212}\text{Pb} / ^{208}\text{Tl}$
Teori	1	1	1
<i>in-situ</i>	$0,955 \pm 0,135$	$1,132 \pm 0,177$	$0,918 \pm 0,270$
Laboratorium	$1,137 \pm 0,052$	$1,094 \pm 0,181$	$1,118 \pm 0,190$

a.) Sebelum dikoreksi



b.) Setelah dikoreksi



Gambar 2. Prosentasi perbedaan hasil pengukuran lapangan (in-situ) a.) sebelum dikoreksi dan b.) setelah dikoreksi dengan pengukuran laboratorium.

Kebergantungan Lokasi Radionuklida

Hasil pengukuran radionuklida alam, khususnya dari deret uranium (^{226}Ra) maupun deret thorium (^{228}Th), untuk jenis tanah yang sama yaitu *latosol* berdasarkan analisis statistik uji ANOVA dengan SPSS tidak bergantung antar lokasi dengan nilai $F > 0,05$, untuk $F < 0,05$ bergantung lokasi. Pada Tabel 3, terlihat bahwa ^{226}Ra dan ^{228}Th tidak bergantung lokasi, untuk kondisi tanah yang sama yakni bukan pertanian, sebab untuk tanah pertanian bisa jadi bergantung pada lokasi karena adanya penambahan ^{226}Ra dari pupuk *tri super phospat* (TSP). Sedangkan untuk ^{40}K bergantung pada lokasi pengambilan sampel tanah. Data yang diperoleh ini berlawanan dengan hasil yang dilakukan oleh Benke dan Keerfott^[12]. Hal ini mungkin disebabkan jenis tanah yang diamati berbeda antara *latosol* dan *gurun pasir* (*desert*).

Tabel 3. Kebergantungan lokasi radionuklida berdasarkan uji statistik.

Nuklida	Nilai F	Kebergantungan lokasi
^{228}Th	0,450	Tidak bergantung lokasi
^{226}Ra	0,088	Tidak bergantung lokasi
^{40}K	0,005	Bergantung lokasi

Dalam pengukuran radionuklida alam baik secara *in-situ* maupun laboratorium, dimana analisis spektrum dilakukan secara otomatis dengan program *Genie-PC*, perlu ada evaluasi terlebih dahulu secara *manual*, karena sering terjadi pergeseran puncak *spektrum*. Akibatnya data cacahan lebih rendah (*under estimate*). Hal ini terjadi adanya pengaruh fluktuasi tegangan PLN (untuk pengukuran laboratorium) dan suhu udara yang $>30^\circ\text{C}$ untuk pengukuran *in-situ*^[5,12].

KESIMPULAN DAN SARAN

- Hasil pengukuran ^{228}Th , ^{226}Ra dan ^{40}K di tanah permukaan antara 13,7 sampai 28,9 Bq/kg; 14,56 - 33,8 Bq/kg dan 21,88 - 42,88 Bq/kg, dalam orde pengukuran laboratorium dengan perbedaan $<20\%$ untuk tanah *latosol*.
- Untuk tanah *latosol*, kadar ^{226}Ra dan ^{228}Th tidak bergantung pada letak lokasi tanah untuk tanah bukan pertanian.
- Perlu dilakukan studi pengaruh relaksasi massa per unit luas (β) terhadap pengukuran radionuklida alam secara *in-situ*, sehingga diperoleh informasi yang lebih detail mengenai distribusi dan penyebaran radionuklida alam.

DAFTAR PUSTAKA

- SUTARMAN, BUNAWAS, DADONG ISKANDAR, ACHMAD CHAERUDIN dan HADI SETIAWAN, Konsentrasi radionuklida alam di dalam bahan bangunan di Jakarta dan sekitarnya, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, Jakarta 22-24 Agustus 1994.
- LUCAS, H.F., MARKUN, F., The determination of ^{226}Ra and ^{228}Th in water and solids by the least squares Gamma spectrometric method., J. Environment Radioactivity 15 (1992) 1-18
- VAN CLEFF, D.J., Determination of ^{226}Ra in soil using ^{214}Pb and ^{214}Bi immediately after sampling, Health Physics 67 (1994) 228-289
- BECK, H.L., De CAMPO, J., GOGOLAK, C.V., *In-situ* Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma -ray spectrometry, HASL-258 (1972).
- DADONG ISKANDAR, WAHYUDI dan BUNAWAS, Kalibrasi sistem spektrometer gamma *in-situ* untuk pengukuran radioaktivitas lingkungan, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VII, 24-25 Agustus 1999, P3KRBiN-Batan Jakarta, (1999).
- DADONG ISKANDAR, Koreksi serapan diri sinar- γ dalam wadah Marinelli satu liter.,

Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta 8-10 Juli 1997.

7. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Gamma-ray spectrometry in the Environment, ICRU Report 53 (1994).
8. FUJITAKA, K., MATSUMOTO, M., KAIHO, K., and ABE, S., Effect of rain interval on wet deposition of radon daughters, Radiation Protection Dosimetry 45 (1992) 333-336.
9. MURITH, C., VOLKLE, H., and HUBER, O., Radioactivity measurement in the Vicinity of Swiss Nuclear Power Plants. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A243 (1986) 549-560.
10. Yoesran Zoebair, Bunawas, Dadong Iskandar., Pengukuran ^{222}Rn di tanah secara *in-situ* dan faktor yang mempengaruhinya, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, Jakarta 21-22 Agustus 1995.
11. MILLER, K.M., SHEBELL, P., KLEMIC, G.A., *In-situ* gamma spectrometry for the measurement of uranium in surface soils, Health Physics 67 (1994) 140-150.
12. BENKE, R.R., and KEAFORT, K.J., Comparison of *in-situ* and laboratory gamma spectrometry of natural radionuclides in desert soil. Health Physics 73(1997) 250-361.

TANYA JAWAB

M. Yazid

- Bagaimana metode kalibrasi yang anda lakukan untuk peralatan ini ?
- Sumber yang dipakai dan dimensinya ?

Bunawas

- ✧ Menggunakan sumber titik Eu-152 yang memancarkan multi energi γ , kemudian ditentukan respon di sektor Hpfe fungsi sudut untuk menentukan faktor kalibrasi $\frac{Nf}{C}$
- ✧ Sumber yang dipakai bentuk titik Eu-152 dengan diameter $\sim 0,5$ cm

Abdul Latief

- Dari kesimpulan No. 1 terdapat perbedaan pengukuran sebesar 20%, hal ini cukup besar. Alat mana yang mendekati kebenaran, apakah spektrometer γ insitu atau lab ? Tentunya setelah keduanya dikalibrasi.

Bunawas

- ✧ Metode standar yang menjadi acuan yaitu pengukuran laboratorium. Perlu diketahui, pendekatan pengukuran 20% tersebut untuk lingkungan yang ordenya rendah, masih dapat diterima.