PENGGUNAAN ANALISA STATISTIK SEBAGAI KONTROL MUTU HASIL PENGUKURAN

Nazaroh

Abstrak

Pada setiap pengukuran, akan dihasilkan sejumlah data yang perlu dievaluasi. Metode statistik merupakan alat untuk memantau mutu hasil pengukuran atau pengujian. Gambaran mutu hasil pengukuran dapat dilihat melalui besaran ketidakpastian, yang akan memberikan banyak informasi tentang pengukuran tersebut. Sebelum mengevaluasi data pengukuran perlu dilakukan pemeriksaan terhadap data pengukuran apakah perlu dieliminasi atau tidak. Eliminasi titik-titik data harus konsisten dan tidak bergantung pada personil yang melaksanakan pengukuran dan bisa berdasarkan keinginan. Seorang peneliti yang kompeten akan bekerja keras untuk memelihara kekonsistenan di dalam analisis data primer. Ada beberapa bentuk analisis data yang dapat digunakan untuk mengevaluasi seluruh data pengukuran sebelum perhitungan hasilnya, diantaranya: kriteria chauvenet, kertas grafik probabilitas, *z-score* atau χ^2 (*chi-square*).

Kata kunci: analisa, pengukuran, eliminasi

Abstract

Usage of statistical analysis as control quality of result measurement. In each measurement, will be yielded by a number of data, which is needed to be evaluated. Statistical method is a tool to watch quality of measurement result or examination. Image of quality result of measurement can be seen through uncertainty of measured, to give much information concerning measurement. Before evaluating measurement data require to be done by inspection to measurement data do needing elimination or not. Data elimination should be consistent and not based on personnel executing diffraction and measurement pursuant to desire. A researcher which is competence will strive to look after consistence in primary data analysis. There are some forms data analyses which can be used to evaluate entire/all measurement data before determining the result: chauvenet criteria, probability graph paper, z-score and χ^2 (chi-square test).

Keyword: analysis, measurement, elimination

1. PENDAHULUAN

Ada beberapa bentuk analisis data yang perlu digunakan untuk mengevaluasi seluruh data pengukuran. Analisis tersebut dapat berupa suatu penilaian lisan sederhana terhadap hasil pengukuran atau dengan mengambil bentuk analisis teoritis yang komplek (rumit), yang melibatkan berbagai hal yang mempengaruhi pengukuran tersebut. Bahkan prinsip-prinsip baru perlu juga dikembangkan untuk menjelaskan beberapa fenomena yang tidak biasa. Para peneliti seharusnya mengetahui validitas data. Demikian pula seorang sarjana/ teknisi nuklir harus tahu dan yakin akan keakurasian dan kepresisian beberapa alat yang biasa digunakannya untuk mengukur radioaktivitas dengan sederhana. Beberapa *error* memiliki sifat random, dan sebagian lagi adalah akibat dari kesalahan personil. Data jelek akibat kesalahan personil, boleh dibuang. Tetapi batasannya apa?. Kita tidak dapat membuang data begitu saja sebab data tersebut tidak dapat menyesuaikan diri dengan harapan dan keinginan kita kecuali jika kita lihat sesuatu yang sungguh-sungguh salah. Jika titik data tersebut berada jauh di luar jangkauan deviasi standar random normal yang diharapkan, data tersebut boleh dibuang berdasarkan beberapa analisis data statistik yang konsisten.

Eliminasi titik-titik data harus konsisten dan tidak bergantung pada personil yang melaksanakan pengukuran dan bisa berdasarkan keinginan. Pada beberapa contoh, sangat sulit untuk menjaga kekonsistenan dan ketidakbiasaan. Tekanan dari suatu batas waktu, adanya kegagalan percobaan sebelumnya dan ketidaksabaran, semua dapat mempengaruhi proses berpikir rasional. Tetapi seorang peneliti yang kompeten akan bekerja keras untuk memelihara kekonsistenan di dalam analisis data primer. Pada makalah ini akan dibahas beberapa analisis data untuk menentukan validitas data pengukuran, *error* (kesalahan), kepresisian, dan ketidakpastian pengukuran. Metode presentasi data grafik akan sedikit disajikan.

2. TEORI

2.1 Sebab dan Tipe Error di Dalam Pengukuran

Dalam bidang pengukuran, sering kita dihadapkan pada istilah kepresisian dan keakurasian suatu alat yang kita gunakan. Keakurasian alat menunjukkan deviasi bacaan dari input yang diketahui. Atau dengan kata lain, *keakurasian yaitu kedekatan antara hasil pengukuran dan nilai sebenarnya dari besaran ukur tersebut.* Keakurasian biasanya dinyatakan sebagai persentase bacaan skala penuh. Sedangkan *kepresisian alat menunjukkan kemampuannya untuk mengulang kembali bacaan tertentu* [1].

Untuk lebih memahami perbedaan antara presisi dan akurasi, akan diberikan contoh pada bahasan makalah ini. Akurasi berkaitan dengan deviasi bacaan alat dengan nilai benar yang diketahui. Deviasi tersebut dikenal dengan error.

Di banyak situasi pengukuran, kita tidak mengetahui nilai benar yang digunakan untuk membandingkan bacaan alat dan kita belum merasa yakin bahwa alat tersebut berada dalam ± range tertentu dari nilai benar. Dalam hal ini kita katakan bahwa ± range tersebut menggambarkan ketidakpastian bacaan alat.

Error (kesalahan) eksperimen adalah error percobaan. Error adalah hasil pengukuran dikurangi dengan nilai besaran ukur yang sebenarnya. Jika peneliti tahu apa itu error, dia akan mengoreksinya dan tidak akan ada error lagi. Dengan kata lain, error yang sebenarnya (the real error) dalam data eksperimen adalah faktor-faktor yang selalu samar dan menyebabkan ketidakpastian. Tugas kita adalah menentukan kemungkinan tidak pastinya pengamatan tertentu dan memikirkan suatu jalan/cara yang konsisten untuk menetapkan ketidakpastian (uncertainty) dalam bentuk format yang analitis. Ketidakpastian pengukuran adalah nilai mungkin (possible value) kesalahan pengukuran [2].

Menurut Jimmy Pusaka [3], “Ketidakpastian pengukuran adalah parameter hasil pengukuran yang mengkarakterisasi dispersi nilai-nilai yang dapat dikenakan pada besaran ukur“. Definisi ini dikutip dari Guide to the Expression of Uncertainty, ISO/TAG4/WG: June 1992, 2 Definitions [4]. “Uncertainty of measurement is a parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand”. Ketidakpastian ini bervariasi bergantung pada lingkungan percobaan.

Ada 3 tipe error yang dapat menyebabkan ketidakpastian di dalam pengukuran percobaan. Yang pertama adalah kesalahan peralatan atau konstruksi alat. Peneliti yang hati-hati akan dapat mengeliminasi sebagian besar error tersebut. Yang kedua adalah error tetap yang tertentu (certain fixed error), yang akan menyebabkan kesalahan dalam ulangan bacaan tetapi tidak tahu alasannya. Error tetap itu kadang disebut sebagai kesalahan sistematik (systematic error). Yang ketiga adalah random error (kesalahan acak), yang disebabkan oleh fluktuasi personil, fluktuasi elektronik acak dalam alat atau instrumen, pengaruh berbagai friksi dan lain-lain.

Kesalahan acak itu biasanya mengikuti distribusi statistik tertentu, tetapi tidak selalu. Pada banyak contoh (kejadian), sangat sukar membedakan antara kesalahan tetap (fixed error) dan kesalahan acak (random error). Para peneliti kadang-kadang menggunakan metoda teoritis untuk mengestimasi besarnya kesalahan tetap.

2.2 Distribusi Poisson dan Gaussian

Telah kita ketahui bersama bahwa proses disintegrasi inti bersifat random (acak). Bila kita melakukan pengukuran sampel radioaktif, dari suatu sampel yang berwaktu paro sangat panjang dibandingkan dengan waktu pengukuran, hasil pengukurannya akan terdistribusi secara random di sekitar nilai rata-rata, sekalipun pengukuran laju cacah di bawah kondisi faktor geometri yang sama.

Untuk menentukan frekuensi kejadian error dapat dipakai hukum probabilitas. Telah terbukti dan telah dikenal luas bahwa probabilitas kejadian P(n) dapat diprediksi dengan hukum distribusi Poisson, berikut ini:

$$P_a(n) = \frac{e^{-m} m^n}{n!} \qquad 1)$$

dimana:

m = laju cacah rata-rata

n = laju cacah

$$m = \frac{\sum n_i}{n} \qquad 2)$$

dimana:

n = banyaknya elemen sampel (sample size)

n_i = laju cacah ke-i

Standar deviasi untuk distribusi Poisson adalah :

$$\sigma = \sqrt{m} \qquad 3)$$

Distribusi Poisson menjadi simetris di sekitar laju cacah rata-rata, m jika m bertambah besar. Untuk laju cacah rata-rata, m = 20, distribusi dapat dianggap sebagai distribusi simetris. Distribusi simetris diistilahkan dengan Distribusi Normal/ Gaussian.

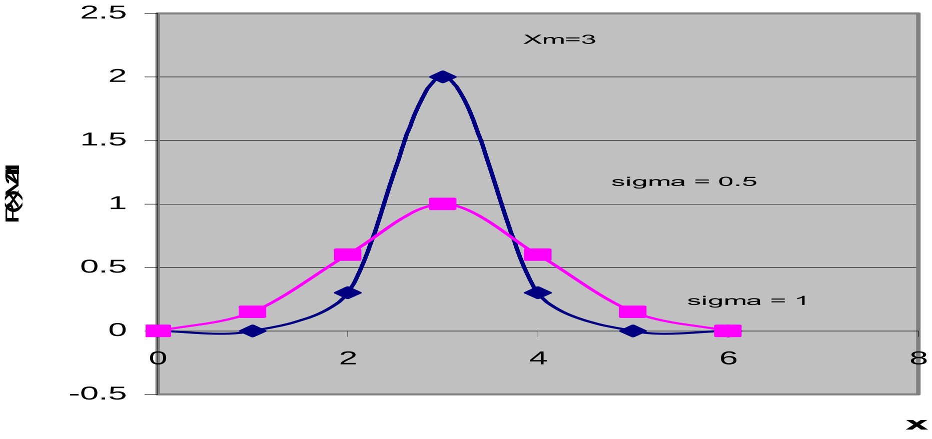
Probabilitas Gaussian G(n) dirumuskan sebagai:

$$G(n) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{n-m}{\sigma})^2} \qquad 4)$$

Deviasi standar adalah ukuran lebar dari kurva distribusi, semakin besar nilai σ, kurva akan lebih datar dan oleh sebab itu kesalahan yang diharapkan juga lebih besar. Bila persamaan 4 dinormalisir sehingga total di bawah kurva menjadi satu. Jadi,

$$\int G(n)\, dn = 1 \qquad 5)$$

Batas integral (- ∞ → +∞)



Gambar 4. Distribusi kesalahan gaussian atau nurmal untuk dua nilai deviasi standar

Dengan menganalisa fungsi distribusi Gaussian dari persamaan 4, kita lihat bahwa probabilitas maksimum terjadi pada X = X_m, nilai probabilitasnya adalah:

$$P(X_m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \qquad 6)$$

Dari persamaan 6, kita lihat bahwa semakin kecil nilai deviasi standar (σ), akan menghasilkan nilai probabilitas maksimum, P(Xm), yang lebih besar. Kadang-kadang P(Xm) disebut sebagai ukuran presisi data karena P(Xm) mempunyai nilai lebih besar untuk nilai deviasi standar yang lebih kecil.

Selanjutnya distribusi Gaussian akan kita uji untuk menentukan kemungkinan titik-titik data tertentu, akan jatuh dalam deviasi khusus dari rata-rata semua titik data. Probabilitas suatu pengukuran akan jatuh pada jangkauan x1 tertentu dari bacaan rata-rata, mengikuti persamaan berikut:

$$P = \int_{X_m - X_1}^{X_m + X_i} \frac{e^{-\frac{(X-X_m)2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} dx \qquad 7)$$

$$\text{Bila} \rightarrow \eta = \frac{(X - X_m)}{\sigma} \qquad 8)$$

maka persamaan 7) menjadi:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\eta_1}^{+\eta_2} e^{-\frac{\eta^2}{2}} d\eta \qquad 9)$$

Dimana: $\eta_1 = \frac{x_1}{\sigma}$ 10)

Nilai fungsi kesalahan normal Gaussian adalah:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\eta^2/2} \; . \qquad 11)$$

2.3 Analisis Statistik Data Pengukuran

Bila sederet bacaan alat (pengukuran) di ambil, bacaan individu akan bervariasi satu sama lain, dan seorang peneliti biasanya akan melakukan perhitungan rata-rata dari bacaan tersebut. Jika setiap bacaan dinyatakan sebagai X_i, dan ada sejumlah n bacaan, maka rata-rata aritmatikanya adalah:

$$X_m = \frac{\sum X_i}{n} \qquad 12)$$

Deviasi rata-rata, d_i untuk n bacaan didefinisikan sebagai :

$$d_i = \frac{\sum d_i}{n} = \frac{\sum (X_i - X_m)}{n} \qquad 13)$$

Nilai absolut deviasi Rata-rata, [đ$_i$] dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$[d_i] = \frac{\sum [X_i - X_m]}{n} \qquad 14)$$

Deviasi standar atau akar deviasi kuadrat rata-rata dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_p = [\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n}]^{1/2} \qquad 15)$$

Deviasi Standar kuadarat, σ^2 adalah varian. Ini kadang-kadang disebut sebagai deviasi standar populasi atau deviasi standar bias (*population or biased standard deviation*) karena hanya dipakai untuk jumlah sampel besar. Sedikitnya jumlah data yang diambil adalah 20 data pengukuran. Hal ini untuk memperoleh penafsiran deviasi standar yang dapat dipercaya dan validitas umum data.

Untuk data sedikit digunakan deviasi standar sampel (*sample standard deviation*) atau deviasi standar tidak bias (*unbiased standard deviation*) menggunakan persamaan berikut ini:

$$\sigma_s = [\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n-1}]^{1/2} \qquad 16)$$

n-1 digunakan sebagai ganti n, seperti dalam persamaan 15. Deviasi standar sampel(σ_s) atau deviasi standar tidak bias harus digunakan apabila populasi yang mendasari tidak diketahui. Tetapi bila komparasi dibuat terhadap populasi atau standar yang diketahui, maka dapat digunakan persamaan 15.

Deviasi standar rata-rata, SDOM (*Standard Deviation Of the Mean*), $\sigma = \frac{\sigma_s}{n}$

$$\sigma_s = [\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n(n-1)}]^{1/2} \qquad 17)$$

Pada suatu proses biologi tertentu atau pada laju pertumbuhan sumber financial, dapat kita gunakan rata-rata geometrik (bila fenomena tumbuh dalam proporsi ukurannya). Hal ini biasanya dipakai rata-rata geometrik, yang didefinisikan sebagai:

$$X_g = [x_1.x_2.x_3.x_4 \ldots\ldots\ldots\ldots x_n]^{1/n} \qquad 18)$$

2.4 Teknik Mengeliminasi Data

Kadang peneliti dihadapkan pada data yang kurang baik. Sulit untuk memutuskan apakah data ini dibuang atau tidak, karena tidak sesuai dengan harapan. Untuk itu perlu konsistensi dalam mengeliminasi data.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengeliminasi data yang mencurigakan diantaranya Kriteria Chauvenet (*Chauvenet's Criterion*) atau menggunakan kertas grafik probabilitas

2.4.1 Kriteria Chauvenet

Dalam pemakaian kriteria Chauvenet untuk mengeliminasi titik data yang meragukan, pertama-tama kita lakukan perhitungan nilai rata-rata dan deviasi standar menggunakan semua titik data. Kemudian deviasi dari titik-titik individu tersebut dibandingkan dengan deviasi standar yang sesuai dengan informasi dalam Tabel 1. dan bila d_{maks}/σ melebihi nilai pada Tabel 1, maka data tersebut dapat dieliminasi. Untuk menyajikan data final, nilai rata-rata baru dan deviasi standar dihitung kembali dengan titik data yang meragukan telah dieliminasi dari penghitungan. Ingat bahwa kriteria Chauvenet's hanya dapat dipakai untuk satu kali mengeliminasi titik-titik data.

Tabel 1 Kriteria Chauvenet untuk Me"Reject" Suatu Bacaan Pengukuran

No	Jumlah Bacaan	Rasio Deviasi Maks. terhadap Deviasi Standar, D_{max}/σ
1	3	1,38
2	4	1,54
3	5	1,65
4	6	1,73
5	7	1,8
6	10	1,96
7	15	2,13
8	25	2,33
9	50	2,57
10	100	2,81
11	300	3,14
12	500	3,29
13	1000	3,48

2.4.2 Kertas Grafik Probabilitas

Kertas grafik probabilitas khusus dirancang untuk melihat apakah suatu set data terdistribusi secara normal. Kertas grafik ini dapat dibeli di toko-toko gambar teknik. Kertas tersebut menggunakan sistem koordinat. Ordinat mempunyai persen bacaan di atas dan di bawah absis. Dan absis adalah nilai bacaan khusus. Spasi ordinat disusun sedemikian rupa sehingga kurva distribusi Gaussian akan tergambar sebagai garis lurus pada grafik tersebut. Garis lurus ini akan berpotongan pada ordinat 50%, pada absis yang sama dengan rata-rata aritmatik data tersebut.

Untuk menentukan apakah suatu set data terdistribusi secara normal, kita plot data pengukuran pada kertas probabilitas dan lihat apakah hasil pengeplotan tersebut sesuai dengan garis lurus teoritis. Ingat bahwa bacaan terbesar tidak dapat diplot pada kertas tersebut karena ordinat tidak melampaui 100%. Di dalam menaksir validitas data kita tidak menempatkan sebanyak kepercayaan pada titik-titik dekat atas atau bawah akhir dari kurva jika data tersebut dekat dengan ekor distribusi probabilitas.

2.5 Teknik Kendali Mutu Alat

2.5.1 Uji Chi-square (χ^2)

Pada awal diskusi ini telah kita bicarakan bahwa kesalahan random diharapkan mengikuti distribusi Gaussian. Selanjutnya kita mungkin bertanya, seberapa besar batas toleransi kita terhadap deviasi pengukuran. Untuk menjawab pertanyaan tersebut dapat kita gunakan metode χ^2 (*Chi-square*). Uji *Chi-square* dapat digunakan untuk memeriksa validitas berbagai distribusi. Disamping itu dapat kita gunakan untuk memeriksa kestabilan alat ukur atau uji kendali mutu alat.

$$\chi^2 = \frac{\sum (N_o - N_e)_i^2}{(N_e)_i} \qquad 19)$$

N_o = cacahan (aktivitas) hasil pengukuran

N_e = cacahan (aktivitas) yang diharapkan)

Jika χ^2 = 0, maka distribusi yang diharapkan atau diasumsikan atau data yang diukur sangat sesuai/cocok dengan standar.

Untuk mendapatkan nilai $\chi 2$ pada tabel, perlu diketahui nilai F, F adalah derajat kebebasan dalam pengukuran, yaitu:

$$F = n\text{-}k \qquad 20)$$

dimana:

n= jumlah sel (data)

k= jumlah kondisi yang dikenakan pada distribusi yang diharapkan.

2.5.2 Z-score

Z-score merupakan salah satu *control-chart* yang dapat digunakan untuk memantau hasil pengukuran. Secara sederhana dapat menyajikan hubungan antara hasil pengukuran dengan periode waktu. Peneliti dapat menggunakan *control chart* ini untuk menentukan batas "daerah peringatan dan daerah bahaya" sehingga hasil pengukuran tidak berada di luar kontrol. Untuk daerah peringatan biasanya digunakan 1x simpangan baku, dan untuk daerah bahaya digunakan 2x simpangan baku.

Untuk memantau hasil pengukuran biasanya digunakan cuplikan pemantau mutu (sumber standar bersertifikat). Hasil pengukurannya diplot pada sumbu x dan y. *Z-score* dihitung berdasarkan persamaan:

$$Z = \frac{A_p - A_s}{\sqrt{\sigma_p^{\ 2} + \sigma_s^{\ 2}}} \qquad 21)$$

dimana:

A_p : nilai besaran ukur rata-rata hasil pengukuran

σ^2_p : harga simpangan baku hasil pengukuran

$Ä_s$: nilai besaran ukur dari sertifikat

σ^2_s : harga simpangan baku dari sertifikat

2.6 Analisis Ketidakpastian

Ada 2 macam ketidakpastian, yaitu ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B. Ketidakpastian tipe A berasal dari hasil pengukuran dan ini dapat diminimasi dengan menaikkan jumlah pengamatan atau lama pengukuran. Sedangkan ketidakpastian tipe B berasal dari informasi yang terkait dengan alat ukur yang digunakan, sumber standar/kalibrasi, data waktu paro, dan lain-lain.

Suatu besaran ukur ada yang bersifat tunggal, tetapi banyak juga yang merupakan suatu fungsi dari besaran ukur yang lain berdasarkan hubungan teoritis. Misal z = f(x,y), jika x dan y ditentukan dari pengukuran dengan ketidakpastian masing-masing adalah u(x) dan u(y), maka ketidakpastian z, u(z) adalah:

$$u^2(z) = (\delta z/\delta x)^2\, u^2(x) + (\delta z/\delta y)^2\, u^2(y) \qquad 22)$$

Tabel 2 Beberapa Fungsi Dasar yang Dapat Digunakan untuk Mengevaluasi Ketidakpastian Hasil Pengukuran

No	Fungsi	Hukum penjalaran
1	Z=x+y	$U^2(z)=u^2(x) +u^2(y)$
2	Z=x-y	$u^2(z) = u^2(x) +u^2(y)$
3	Z=x.y	$u^2(z) =y^2.u^2(x)+x^2.u^2(y)$
4	Z=x/y	$u^2(z) =u^2(x)/y^2 +x^2u^2(y)y^4$
5	$Z=x^n$	$u^2(z) =nx^{n-1}.u(x)$
6	$Z = e^{kx}$	$u^2(z) = ke^{kx}.u(x)$

Ketidakpastian Gabungan

Untuk menghitung ketidakpastian gabungan, u_c maka perlu dibuat suatu daftar yang berisi komponen-komponen ketidakpastian tipe A dan tipe B, serta derajat kebebasannya. Hal ini untuk memudahkan dalam mengevaluasi ketidakpastian gabungan.

Tahap selanjutnya adalah menggabungkan semua ui(xi), dan νi(xi) untuk mendapatkan ketidakpastian gabungan, uc dan derajat kebebasan efektifnya.

$$u_c = \sqrt{\sum u_i^2(x_i)} \qquad 23)$$

$$\nu_{eff} = \frac{\sum u_i^{\ 4}(x_i)}{\sum \frac{u_i^{\ 4}(x_i)}{\nu_i(x)}} \qquad 24)$$

Ketidakpastian Bentangan, U_c

$U_c = k \cdot u_c$ 25)

Dimana k adalah faktor cakupan, untuk tingkat kepercayaan 95%, yang diperoleh dari Tabel t-student, untuk derajat kebebasan $\nu = \nu_{eff}$.

Hasil akhir pengukuran adalah berupa laporan hasil pengukuran yang dinyatakan sebagai:

$X = X_m \pm U_c$ 26)

3. TATA KERJA

Contoh 1

Suatu pencacah Geiger Muller digunakan untuk mengukur cacah latar belakang dalam suatu laboratorium. Jika laju cacah rata-rata, m = 20 cpm, berapa probabilitas bahwa pengukuran berikutnya akan memberikan cacahan, n = 18 cpm ?

Jawaban 1

Untuk menjawab soal ini, dapat digunakan persamaan 1)

$$P(n) = m^n.e^{-m}/n!$$
$$= 20^{18}.e^{-20}/18\,!$$
$$= 8{,}4\ \%$$

Contoh 2

Pada Tabel 3, disajikan hasil pengukuran sampel menggunakan pencacah Proporsional. Tentukan rata-rata dan deviasi standarnya !

Jawaban 2

Untuk menjawab pertanyaan 2) dapat digunakan persamaan 2) dan 3)

Laju cacah rata-rata, m =(1/20) (57068)

=2853,4 cpm

Deviasi standar, $\sigma = \sqrt{m}$ = $\sqrt{2853{,}4}$ = 53,41 cpm

Koefisien variasi laju cacah (% σ)

σ/m = 53,41/2853,4 = 1,87 %

Contoh 3

Pada Tabel 4 disajikan hasil pengukuran zat radioaktif ^{137}Cs. Hitung rata-rata, X_m; deviasi standar populasi, σ_p; varian, σ_p^2; dan deviasi absolut rata-rata (*average of absolute value of deviation*), [đ$_i$] dari suatu pengukuran, menggunakan basis bias dan basis tidak bias. Gunakan Kriteria Chauvenet, dan uji titik-titik data tersebut untuk memeriksa ketidak-konsistenan. Hilangkan titik data yang meragukan dan hitung deviasi standar untuk data yang telah diatur.

Contoh 5

Pada Tabel 5 disajikan Hasil pengukuran sumber standar ^{137}Cs untuk melihat kinerja Dose Calibrator Capintec CRC-7BT. Data ini diuji dengan menggunakan χ^2 (chi-square test).

Tabel 3 Hasil Pengukuran Sampel Menggunakan Pencacah Proporsional

No	m_i (cpm)	Deviasi (m_i - m)
1	2888	34,5
2	2837	16,4
3	2978 (**)	124,6
4	2887	33,6
5	2838	-15,4
6	2852	-1,4
7	2910 (*)	86,5
8	2902	48,6
9	2814	39,4
10	2800	53,4
11	2905	51,6
12	2778 (*)	-75,4
13	2779 (*)	74,4
14	2793 (*)	-60,4
15	2804	-49,4

No	m_i (cpm)	Deviasi (m_i - m)
16	2904	50,6
17	2775 (*)	-78,4
18	2828	-25,4
19	2891	37,6
20	2875	21,6
Jumlah	**57068**	

Tabel 4 Hasil Pengukuran Zat Radioaktif ^{137}Cs Menggunakan Surveymeter

Bacaan	Cacahan (cps)	d_i/σ_s
1	5,30	0,499
2	5,73	0,187
3	6,77	1,845
4	5,26	0,563
5	4,33 *)	2,046 *)
6	5,45	0,260
7	6,09	0,761
8	5,64	0,043
9	5,81	0,314
10	5,75	0,219
Jumlah	56,13	
Nilai rata-rata pengukuran, X_m	5,613 cps	
Deviasi standar populasi, σ_p	0,594 cps	
Varian, σ_p^2	0,353 (cps^2)	
Deviasi absolut rata-rata, [$\bar{d}_i$]	0,422 cps	
Deviasi standar sampel, σ_s	0,627 cps	
*) data ini harus dieliminasi	Karena tidak memenuhi	→ Criteria Chauvenet.
X_m (tanpa data ke-5)	5,756 cps	
Deviasi standar sampel, σ_s	0,462 cps	

Tabel 5 Data Pengukuran Sumber Standar ^{137} Cs-137 Menggunakan Dose Calibrator Capintec CRC-7BT

No	^{137}Cs (Xo) (Ci)	Xo-Xe(Ci)	(Xo-Xe)^2(Ci)^2
1	145.2	5.08	25.8064
2	145.2	5.08	25.8064
3	145.4	5.28	27.8784
4	145.4	5.28	27.8784
5	145.6	5.48	30.0304
6	145.5	5.38	28.9444
7	145.6	5.48	30.0304
8	145.5	5.38	28.9444
9	145.2	5.08	25.8064
10	145.4	5.28	27.8784
11	145.5	5.38	28.9444
12	145.4	5.28	27.8784
13	145.4	5.28	27.8784

No	^{137}Cs (Xo) (Ci)	Xo-Xe(Ci)	$(Xo-Xe)^2(Ci)^2$
14	145.5	5.38	28.9444
15	145.4	5.28	27.8784
16	145.3	5.18	26.8324
17	145.2	5.08	25.8064
18	145.2	5.08	25.8064
19	145.4	5.28	27.8784
20	145.4	5.28	27.8784
21	145.3	5.18	26.8324
22	145.3	5.18	26.8324
23	145.3	5.18	26.8324
24	145.4	5.28	27.8784
25	145.1	4.98	24.8004
			$\sum$ = 687.906
Ave =	**145.364**		
Avedev =	0.1072	Xe = nilai observasi	(hasil pengukuran)
Stdev =	0.1319	X_e = nilai expected	(nilai sertifikat)
% (u) =	**0.0185**		
Aktivitas/Ave =	0.9633	Akurasinya = 3,7 %	Presisinya = 0,1 %
X^2 =	4.909	Sesuai criteria	

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk lebih memahami perbedaan antara presisi dan akurasi, telah disajikan contoh pada Tabel 5, akurasi dari alat tersebut adalah 3,7% sementara presisinya 0,1%, deviasi maksimum dari pengukuran adalah 0,132 mikro Curie dan bacaan rata-rata 145,36 mikro Curie. Akurasi alat dapat diperbaiki dengan cara kalibrasi sedangkan kepresisian alat tidak dapat.

Akurasi berkaitan dengan deviasi bacaan alat dengan nilai benar yang diketahui. Deviasi tersebut dikenal dengan *error*. Di banyak situasi pengukuran, kita tidak mengetahui nilai benar yang digunakan untuk membandingkan bacaan alat dan kita belum merasa yakin bahwa alat tersebut berada dalam $\pm$ *range* tertentu dari nilai benar. Dalam hal ini kita katakan bahwa $\pm$ *range* tersebut menggambarkan ketidakpastian bacaan alat.

Pada contoh 2, pencacahan dengan proporsional, ternyata ada 6 cacahan yang berada diluar 1 σ (ditunjukkan dg tanda * dan **). Fraksinya sebesar 6/20=30 %. Menurut hukum, probabilitas kesalahan distribusi Gaussian yang didiperbolehkan untuk 1σ=31,73%. Berarti tingkat kepercayaannya 68,47%. Hanya satu cacahan berada diluar 2σ (ditunjukkan **). Fraksinya sebesar 1/20=5%. Menurut hukum 4,55%. Berarti tingkat kepercayaannya 95,45%. Tak ada cacahan yang berada di luar 3σ. Menurut hukum 0,27%. Berarti tingkat kepercayaannya 99,9973%. Dari hasil tersebut ternyata ada 5 data yang berada pada daerah peringatan dan 1 data yang berada pada daerah bahaya. Bila kita menggunakan kriteria chauvenet, untuk 15 - 25 data, rasio deviasi yang masih dapat diterima berada antara 2,13 – 2,33. Titik data yang ke 5 berada pada rasio 124,6/53,1=2,35, jadi diluar kriteria. Perlu dieliminasi.

Jika N adalah jumlah cacahan yang terakumulasi selama periode waktu t, laju cacah n, dan deviasi standarnya adalah:

$$n = N/t \pm (\sqrt{N})/t$$
$$= n \pm \sqrt{(n/t)}$$
$$= n \pm \sigma \qquad 27)$$

Deviasi standar (σ) dari contoh 2, adalah deviasi standar yang dihitung dari rata-rata. Jika kita menghitung deviasi standar dari jumlah cacahan yang terakumulasi selama periode waktu t (20 menit), maka deviasi standar (σt) menjadi = ($\sqrt{57068}$)/20 = 239/20 = 11,94 cpm.

Deviasi standar relatif, σ_R = σ_t/m = 11,94/2853 = 0,42%.

Bila dibandingkan σ_t dan σ , akan diperoleh:

$$\sigma_t/\sigma = 11,94/53,41 = 0,2236$$

Persamaan 27) menyatakan bahwa deviasi standar dari laju cacah yang terakumulasi selama waktu (t) x laju cacah dalam satuan waktu, akan berkurang sebesar $1/\sqrt{t}$, dan hasil $\sigma t/\sigma$ adalah 0,2236 = $1/\sqrt{20}$.

Hubungan deviasi standar antara pengukuran tunggal dan pengukuran ulangan (M kali) adalah sama hubungannya sebagai $1/\sqrt{t}$, menghasilkan $1/\sqrt{M}$. Jadi, pengukuran sejumlah cacah total besar (N), akan memberikan hasil yang lebih akurat.

Jika kita memiliki sejumlah titik data yang besar, kesalahan setiap titik harus mengikuti distribusi Gaussian dan kita dapat menentukan probabilitas bahwa data tertentu berada dalam deviasi khusus dari nilai rata-rata.

Kriteria chauvenet telah digunakan pada hasil pengukuran 137Cs menggunakan surveymeter. Setelah dilakukan eliminasi data dengan kriteria chauvenet, ternyata nilai rata-rata pengukuran berubah dari 5,613 cps menjadi 5,756 cps. Disamping itu, ternyata deviasi standarnya juga berkurang dari 0,627 cps ke 0,462 cps. Ada pengurangan 26,5%.

Uji $\chi 2$ dapat digunakan untuk menganalisis kesalahan random atau untuk memeriksa kesetiaan data tertentu terhadap distribusi yang diharapkan. Untuk menginterpretasikan uji tersebut kita hitung jumlah derajat kebebasan dan $\chi 2$ dari data pengukuran. Jika x2 = 0, maka diasumsikan bahwa distribusi yang diharapkan dan distribusi yang diukur cocok sekali. Jika $\chi 2 \geq 0$, (lihat Tabel $\chi 2$ pada lampiran). Semakin besar nilai $\chi 2$, berarti semakin besar ketidaksesuaian antara distribusi yang diasumsikan dan nilai yang diamati atau semakin kecil nilai probabilitas bahwa distribusi yang diamati sesuai dengan distribusi yang diharapkan.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai $\chi 2$ yang diperoleh dari hasil pengukuran 137Cs adalah 4,909. Sedangkan menurut Tabel untuk derajat kebebasan adalah 24, dengan p = 99,5% dibolehkan nilai x2 □□maksimum = 9,89□. Jadi berarti bahwa pengukuran diatas masih sesuai dengan yang diharapkan.

5. KESIMPULAN

5.1. Sebelum kita mengevaluasi data pengukuran, kita harus memeriksa data tersebut apakah sesuai dengan distribusi yang diharapkan.

5.2. Sebelum mengevaluasi data, data pengukuran perlu divalidasi dengan menggunakan metode chauvenet dan kertas grafik

5.3. Setiap pengukuran akan menghasilkan nilai rata-rata, deviasi standar, dan ketidakpastian.

5.4. Untuk memeriksa hasil pengukuran atau kendali mutu alat dapat digunakan sumber standar (bersertifikat), dapat digunakan uji chi-square atau Z-score.

5.6. Hasil pengukuran disajikan dalam $X = X_m \pm U_c$

DAFTAR PUSTAKA

1. J.P.HOLMAN, Experimental Methods for Engineers, Fifth Edition, Mc.Graw Hill International Edition, chapter 3, (1989).
2. KLINE, S.J. and F.A. Mc. CLINTOCK, Describing Uncertainties in single sample experiments, Mech. Engin., p.3, Jan. (1953).
3. JIMMY PUSAKA, Pengertian dan Pemahaman Ketidakpastian Pengukuran, pt Mitra Mutu Mancanegara, (2001).
4. ISO/TAG 4/WG 3/June 1993, Guide To The Expression of Uncertainty in Measurement.
5. TOJO, T., Counting Statistics, Batan Jaeri Training Course on Radiation Measurement and Nuclear Spectroscopy, (1997).
6. SUTISNA, Kontrol Statistik dan Penentuan Ketidakpastian, Semiloka Sistem Mutu Laboratorium Pengujian, Jakarta, (1999).
7. NICHOLAS, T., Measurement and Detection of Radiation, Mc.Graw Hill Book Company, (1983).

BIODATA

Nazaroh, Dra, lahir di Pekalongan tanggal 10 Oktober 1961. Penulis menyelesaikan S1 FMIPA Universitas Indonesia jurusan Fisika Proteksi Radiasi. Penulis adalah Peneliti Madya LIPI. Saat ini bekerja sebagai Kasubid Standardisasi P3KRBin Batan.