

KALIBRASI SISTEM MONITOR DAN KENDALI DENSITAS ALIRAN FLUIDA P₂O₅

Ikhwan Shohari, Rony Djokorayono dan Junus
Pusat Rekayasa dan Perangkat Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang 15314

ABSTRAK

Telah dilakukan kalibrasi sistem monitor dan pengendali densitas aliran fluida dengan teknik absorpsi radiasi gamma dengan sumber radioaktif Cs 137. Sistem ini berfungsi untuk mengendalikan konsentrasi P₂O₅ pada proses produksi pupuk SP36. Peluruhan sumber radioaktif pemancar gamma menyebabkan hasil pengukuran menjadi berubah, dan menyebabkan penyimpangan pengukuran bertambah dari hanya 0,82 % menjadi 46,10 %. Proses kalibrasi dilakukan untuk melakukan koreksi pengukuran sumber radioaktif pemancar gamma yang berkurang aktivitasnya.

PENDAHULUAN

Waktu paruh (*half-life*) adalah waktu yang dibutuhkan untuk jumlah tersebut berkurang menjadi setengah dari nilai awal. Konsep ini banyak terjadi dalam fisika, untuk mengukur peluruhan radioaktif dari zat-zat, tetapi juga terjadi dalam banyak bidang lainnya. Penurunan menjadi setengah dari nilai awal ini merupakan kejadian yang tidak berlangsung secara serentak dan bersamaan, melainkan dianggap sebagai peristiwa statistik. Berdasar sifat statistik ini apabila sejumlah A nuklida, tak mungkin dapat diramalkan nuklida mana yang akan meluruh pada detik berikutnya, mengingat kebolehjadian terjadinya peluruhan dari setiap nuklida dalam waktu $dt = \lambda dt$

Lamda (λ) adalah suatu konstanta yang disebut konstanta peluruhan. Bila A adalah jumlah nuklida yang belum meluruh pada suatu saat, dN adalah jumlah nuklida yang akan meluruh dalam waktu dt , maka dapat dituliskan :

$$dA = -\lambda dt A$$

sehingga :

$$\frac{dA}{A} = -\lambda dt$$

$$\int_{A_0}^{A(t)} \frac{dA}{A} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln A(t) - \ln A_0 = -\lambda t$$

$$\ln \frac{A(t)}{A_0} = \ln e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

A_0 : Jumlah nuklida radioaktif pada saat $t = 0$

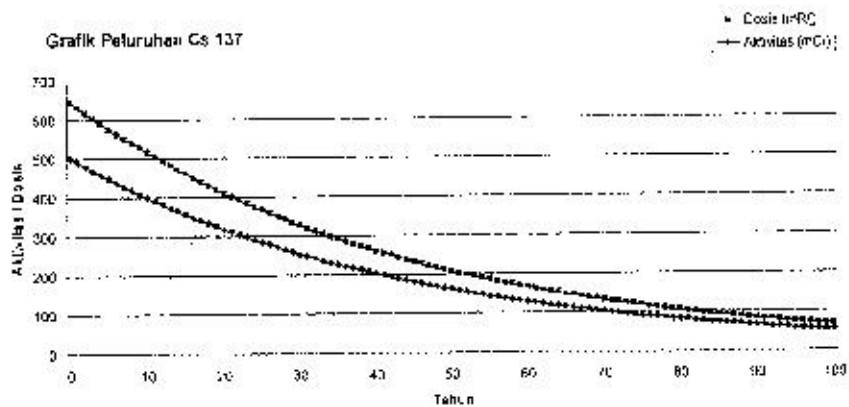
$A(t)$: Jumlah nuklida radioaktif pada saat t

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t \text{ paro}}$$

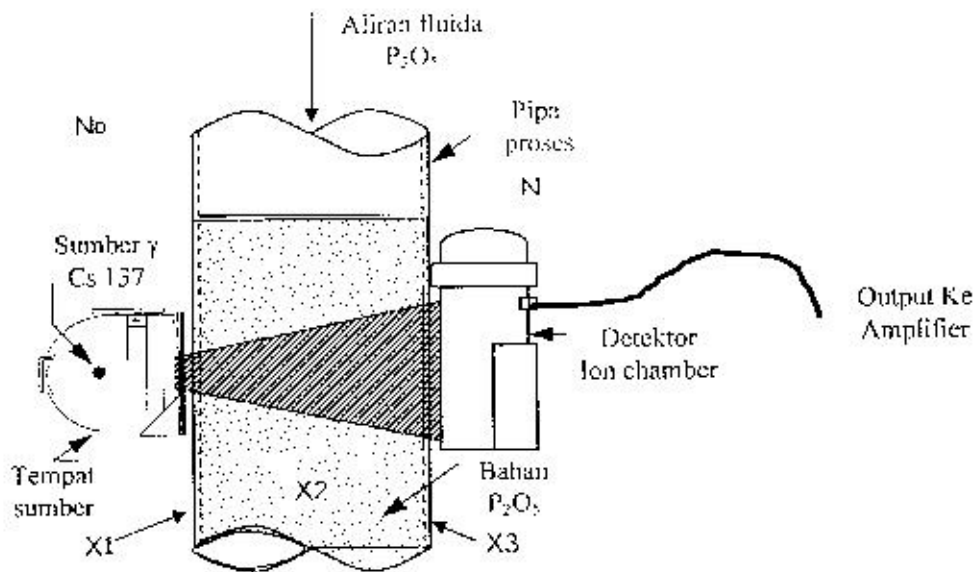
Sistem monitor dan pengendali densitas aliran fluida dengan teknik absorpsi radiasi gamma menggunakan sumber radioaktif Cs 137 dengan umur paruh 30 tahun. Dengan waktu paruh tersebut sumber radioaktif akan berkurang menjadi setengahnya setelah melampaui waktu selama 30 tahun. Dengan berkurangnya intensitas sumber radioaktif akan menyebabkan berkurangnya paparan yang mengenai detektor, hal ini akan menyebabkan

sampel dengan konsentrasi yang sama saat dilakukan pengukuran pada waktu lampau menjadi lebih pekan konsentrasinya saat dilakukan pengukuran saat ini atau saat yang akan datang. Kalibrasi dilakukan untuk

memastikan hubungan antara nilai-nilai yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur dengan harga yang sebenarnya dari besaran yang diukur, yang diakibatkan peluruhan sumber radioaktif.



Gambar 1. Grafik Peluruhan Sumber Radioaktif Cs 137



Gambar 2. Metoda pengukuran densitas P_2O_5 Menggunakan absorpsi radiasi gamma dengan sumber radioaktif Cs 137

METODA PENGUKURAN

Metoda pengukuran densitas fluida P_2O_5 yang mengalir didalam pipa dengan absorpsi radiasi gamma dapat dijelaskan pada Gambar 2. Berikut

Radiasi gamma yang keluar dari sumber Cs137 mempunyai intensitas N_0 akan diabsorpsi oleh dinding pipa dengan ketebalan X_1 kemudian diabsorpsi lagi

oleh material fluida P_2O_5 dengan ketebalan X_2 yang mengalir didalam pipa dan terahir diabsorpsi kembali oleh dinding pipa dengan ketebalan X_3 yang akhirnya intensitas tersisa diterima oleh detektor ion chamber.

Intensitas radiasi yang diterima detektor akan memenuhi persamaan

$$N = N_0 G e^{-\mu_1 X_1} e^{-\mu_2 X_2} e^{-\mu_3 X_3} \quad (2)$$

dimana :

$$N_0 = nq \cdot A \quad (3)$$

$$G = \frac{d_0 \cdot V_0}{4 \pi R^2} \quad (4)$$

- A = aktivitas (currie Ci)
- nq = jumlah photon per disintegrasi
- π = 3,14
- d_0 = diameter efektif ion chamber
- V_0 = panjang efektif ion chamber
- μ = koefisien absorpsi massa
- ρ = densitas material yang dilalui berkas radiasi gamma
- X = tebal lapisan yang dilalui berkas radiasi gamma
- G = efektif cross section ion chamber

untuk kasus pengukuran densitas fluida P_2O_5 yang mengalir didalam pipa akan memenuhi persamaan 5) sebagai berikut

$$N = N_0 G e^{-(\mu_1 \rho_1 X_1 + \mu_2 \rho_2 X_2 + \mu_3 \rho_3 X_3)} \quad (5)$$

- μ_1 = koefisien absorpsi massa pipa tebal X_1
- μ_2 = koefisien absorpsi massa fluida P_2O_5 tebal X_2
- μ_3 = koefisien absorpsi massa pipa tebal X_3
- X_1 = tebal dinding pipa kiri
- X_2 = tebal lapisan fluida P_2O_5
- X_3 = tebal lapisan pipa kanan
- ρ_1 = densitas dinding pipa kiri
- ρ_2 = densitas P_2O_5 didalam pipa
- ρ_3 = densitas dinding pipa kanan

karena tebal dan material pipa tetap sehingga μ_1 , μ_3 , X_1 , X_3 , ρ_1 , ρ_3 dianggap konstan,

dengan demikian intensitas radiasi yang diterima oleh detektor dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$N = N_0 G e^{-(\mu_1 X_1 + (\mu_2 \rho_2 X_2) + \mu_3 X_3)} \quad (6)$$

$$N = N_0 G A e^{-\mu_2 \rho_2 X_2} \quad (7)$$

Arus yang dihasilkan oleh ion chamber akan memenuhi persamaan :

$$I = I_0 N n v e^{-\mu_2 \rho_2 X_2} \quad (8)$$

- I_0 = elektron charge ion chamber
- n = efisien quantum ion chamber
- v = jumlah rerata pasangan ion yang terbentuk oleh satu elektron skunder didalam ion chamber

Perubahan arus keluaran ion chamber akibat perubahan densitas P_2O_5 akan memenuhi persamaan :

$$\ln I = \ln (I_0 N n v) - (\mu_2 \rho_2 X_2) \quad (9)$$

Bila I_0 , N , n , v , μ_2 , X_2 dianggap konstan maka perubahan arus keluaran ion chamber akibat perubahan densitas P_2O_5 menjadi :

$$d(\ln I) = - d(\rho_2) \quad (10)$$

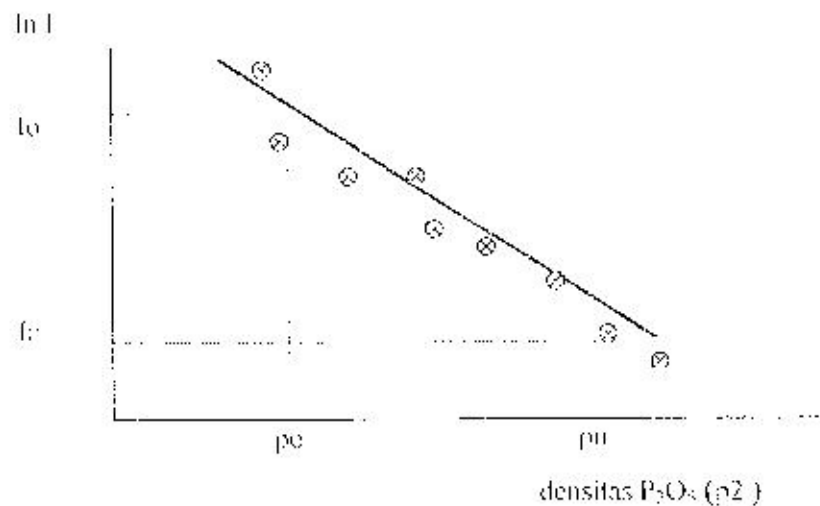
dan akan memenuhi grafik pengukuran seperti pada gambar 3.

Dari grafik dapat dijelaskan bahwa arus yang keluar dari ion chamber akan berkurang secara proporsional dengan naiknya densitas aliran P_2O_5 didalam pipa atau konsentrasi aliran fluida P_2O_5 yang mengalir didalam pipa bertambah maka arus yang keluar dari ion chamber akan berkurang secara proporsional.

ALAT DAN BAHAN

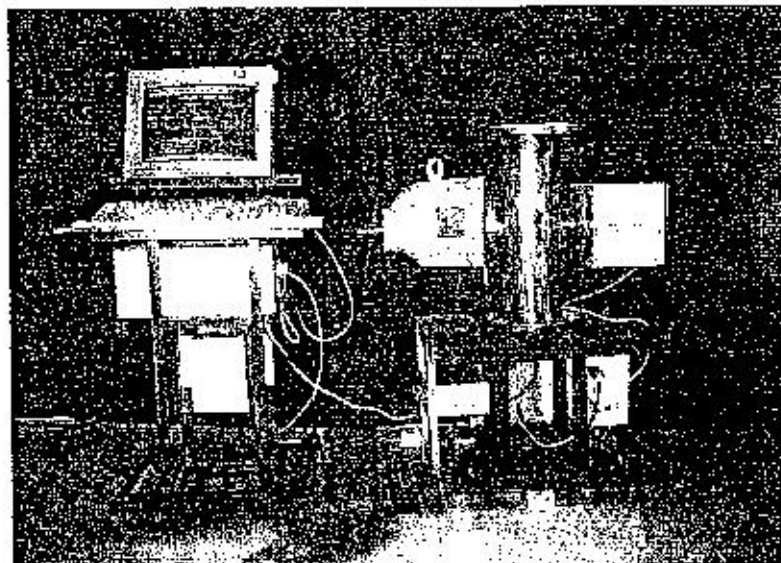
Peralatan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah :

- Prototype Gamma ray density meter, terintegrasi dengan sumber radioaktif, Cs 137 500 mCi pada Maret 1993 dengan SN 748-3-93 133
- & G Berthold, detektor, RTU dan Komputer Proses berikut perangkat lunaknya.
- Surveymeter, dan peralatan proteksi radiasi.



Gambar 3. Grafik pengukuran arus keluaran ion chamber vs densitas P_2O_5

- Digital Multimeter dan toolset elektronik.
- Sampel fluida P_2O_5 dalam berbagai variasi konsentrasi (44,17 %, 45,71 %, 48,05 %, 50,59 %, 51,50 %, P_2O_5)



Gambar 4. Prototype Gamma ray density meter

TATA LAKSANA PEKEGIATAN

Kalibrasi dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

- Mengaktifkan sistem, komputer, RTU dihidupkan, program dijalankan, shutter sumber radioaktif dibuka.
- Melakukan pengukuran terhadap Sampel fluida P_2O_5 dalam berbagai variasi konsentrasi (44,17 %, 45,71 %, 48,05 %, 50,59 %, 51,50 %, P_2O_5)
- Melakukan pencatatan besarnya nilai konsentrasi, dan nilai konsentrasi dalam tampilan digital.
- Membandingkan hasil pencatatan dengan data yang lama (data diambil pada bulan Agustus 2003)
- Melakukan perhitungan penyimpangan, untuk memenuhi persamaan $Y = AX - B$, dimana X - data pengukuran dan Y merupakan variabel tampilan, dan memasukan nilai A dan B ke dalam

parameter proses, untuk kemudian dilakukan kembali proses pengukuran untuk mengetahui nilai penyimpangan dengan sampel standar yang ada setelah proses kalibrasi.

Dalam memasukan data tersebut dipakai program dengan menu tampilan SetKalib dan setelah di *Execute* menghasilkan file Kalib.dat, kemudian dalam pelaksanaan proses, file ini akan dibaca oleh program utama pengendalian proses sebagai seting awal operasi.

DATA DAN PEMBAHASAN

Dari data pengukuran yang dilakukan pada Agustus 2003 dan data pengukuran yang dilakukan Agustus 2007, dapat ditampilkan seperti pada tabel dibawah berikut :

Sampel Standar	Pengukuran Agustus 2003			Pengukuran Agustus 2007		
	Tampilan Digital Numerik	Konsentrasi pengukuran P_2O_5 (%)	Kesalahan Relatif (%)	Tampilan Digital Numerik	Konsentrasi pengukuran P_2O_5 (%)	Kesalahan Relatif (%)
44,17	2193	44,35	0,41	1944	23,08	47,75
45,71	2215	46,23	1,14	1956	24,10	47,28
48,05	2226	47,17	1,83	1974	25,64	46,64
50,59	2265	50,50	0,18	2001	27,94	44,77
51,50	2280	51,78	0,54	2011	28,80	44,08
Kesalahan rerata			0,82	Kesalahan rerata		46,10

Dari data tersebut didapatkan persamaan untuk $Y = AX + B$ untuk pengukuran Agustus 2007 adalah A -

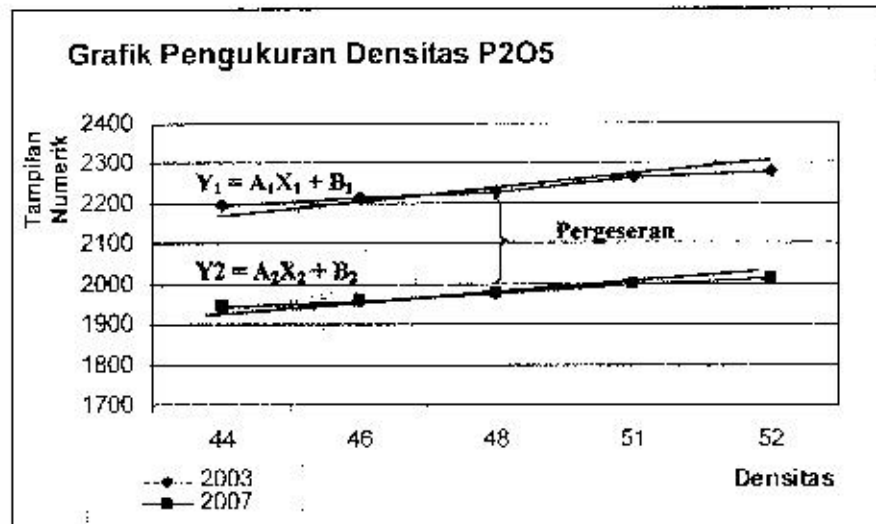
0,108685 dan B = 166,887437, dengan korelasi linieritas $r = 0,996$.

Kesalahan relatif dari pengukuran dapat dihitung dengan :

$$\text{Kesalahan relatif} = \frac{| \text{Konsentrasi hasil pengukuran} - [\text{Konsentrasi sampel standar}] |}{[\text{Konsentrasi sampel standar}]} \times 100 \%$$

Aktifitas sumber radioaktif dapat di lihat seperti pada tabel peluruhan Tabel Lampiran 1. Tabel Peluruhan Cs 137.

500 mCi, SN 748-3-93, EG & G Berthold.



Gambar grafik pergeseran pengukuran densitas P₂O₅

Dari grafik terlihat bahwa peluruhan sumber radioaktif dapat menyebabkan bergesernya nilai pengukuran. Bergesernya nilai pengukuran disebabkan karena intensitas sumber radioaktif yang diterima detektor berkurang sehingga sampel dengan konsentrasi yang sama saat dilakukan pengukuran pada waktu yang lampau (Agustus 2003) dengan pengukuran yang dilakukan saat sekarang (Agustus 2007) dianggap berkurang kekuatannya (Konsentrasinya). Kalibrasi dilakukan untuk melakukan koreksi menggeser persamaan $Y_1 = A_1X_1 + B_1$ menjadi $Y_2 = A_2X_2 + B_2$.

Peluruhan aktivitas sumber radioaktif pada saat pengukuran pertama sebesar 392,2920 mCi menjadi 357,6615 mCi (Berkurang 8,83 %) telah menyebabkan bertambah besar kesalahan hasil pengukuran dari 0,82 % menjadi 46,10 %. Untuk mengurangi

kesalahan pengukuran dilakukan kalibrasi, sehingga didapat persamaan linier yang baru $Y_2 = A_2X_2 + B_2$ dengan $A_2 = 0,108685$ dan $B_2 = -166,887437$, dengan nilai korelasi $r = 0,998$.

KESIMPULAN

- Telah dilakukan kalibrasi monitor dan kendali densitas aliran fluida P₂O₅, sehingga di dapat persamaan baru yaitu $Y = 0,108685 X - 166$, dengan nilai korelasi $r = 0,998$.
- Kalibrasi sistem monitor dan kendali densitas aliran fluida P₂O₅, dengan sumber radioaktif pemancar gamma Cs 137 diperlukan secara rutin untuk melakukan koreksi terhadap peluruhan sumber radioaktif Cs 137 yang meluruh aktifitasnya setiap tahunnya.
- Peralatan dan sistem pengukuran dengan metoda nukleonik, harus dilakukan kalibrasi ulang secara

rutin untuk melakukan koreksi pengukuran yang disebabkan meluruhnya sumber radioaktif yang digunakan, utamanya untuk sumber radioaktif dengan umur paruh yang relatif pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Berthold Radiation Measuring Instruments For Industry", GmbH & Co KG, D-7547 Bad Wildbad
- [2] "Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics", International Atomic Energy Agency.
- [3] Rony Djokorayono, dkk, Proseding Seminar Nasional XIII, Kimia dalam Industri dan Lingkungan, JASAKIAI, Yogyakarta, 14 – 15 Desember 2004.