

**SISTEM MONITORING DAN KENDALI DENSITAS ALIRAN FLUIDA
P₂O₅ MENGGUNAKAN RADIOAKTIF GAMMA**

Rony Djokorayono, Arjoni Amir
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) - BATAN

ABSTRAK

SISTEM MONITORING DAN KENDALI DENSITAS ALIRAN FLUIDA P₂O₅ MENGGUNAKAN RADIOAKTIF GAMMA. Telah dikonstruksi sistem monitor dan pengendali densitas aliran fluida dengan teknik absorpsi radiasi gamma untuk mengendalikan konsentrasi P₂O₅ pada proses produksi pupuk SP36, dengan ketelitian ukur antara 0,5gr/dm³ sampai 5,0 gr/dm³. Data pengamatan selama dua tahun terpasang, sangat diperlukan untuk aplikasi lain di bidang industri. Selain untuk monitoring dan kendali P₂O₅, sistem ini dipakai untuk pengendali perangkat operasional lainnya yang terkait. Metode pengendalian Proporsional-Integral (PI) dan metoda pengukuran menggunakan absorpsi radiasi gamma terhadap densitas aliran P₂O₅ di dalam pipa proses dapat mempercepat proses analisa dan pengendalian secara cepat dan akurat yang akhirnya dapat meningkatkan efisiensi dalam penggunaan bahan baku. Keunggulan metoda ini, dapat digunakan untuk pengendalian proses kimia secara on-line, dimana proses pengukuran dan proses pengendalian dapat dilakukan hanya dengan beberapa menit. Hasil pengendalian Proporsional-Integral dan metoda pengukuran menggunakan absorpsi radiasi gamma terhadap densitas aliran P₂O₅ di dalam pipa proses mempunyai kesalahan pengendalian maksimum 4,8 gram/dm³ dan koefisien korelasi $r = 0,985$

Kata kunci : absorpsi radiasi gamma, monitoring sistem, Proportional-Integral (PI), densitas, P₂O₅

ABSTRACT

MONITORING SYSTEM AND CONTROL FOR P₂O₅ FLUID FLOW BY USING GAMMA RADIOAKTIVE. Monitoring system and control for flow density of P₂O₅ in SP36 fertilizer process production has been constructed by using gamma absorption technique, which the accuracy required for measurement of density amounting is 0,5 gr/dm³ to 5,0 gr/dm³. The collected data and experiences during two years of the operation are indispensable for the other application in industry also for the related control instrumentation in the system. Method for Proportional-Integral (PI) controller and measurement uses the gamma radiation absorption technique to P₂O₅ flow density inside the pipe can accelerate the analysis process and control accurately and increase the efficiency in using raw material. This method can be used for controlling of chemistry process in on-line condition which measurement process and control process can be done in any minutes. The result of proportional-Integral (PI) controller and . and measurement uses the gamma radiation absorption technique to P₂O₅ flow density inside the pipe has maximum error 4.8 gram/dm³ and correlation coefficient $r = 0.985$.

Keywords : gamma absorption, system monitoring, Proportional-Integral (PI), density, P₂O₅

PENDAHULUAN

Sistem pengendalian densitas P₂O₅ pada produksi pupuk SP36 Petrokimia Gresik pada awalnya menggunakan metoda cuplikan dimana setiap 3 jam diambil sampel untuk dianalisis di Laboratorium dengan metoda konvensional. Hasilnya akan didapat beberapa jam kemudian, sehingga umpan balik nilai densitas ke sistem proses kontrol akan tertunda beberapa jam. Hal tersebut tidak efisien karena pada saat pemeriksaan sampel berlangsung, nilai densitas P₂O₅ telah berubah sehingga akan mengurangi keakuratan. Keadaan ini mengakibatkan pemborosan bahan baku.

Untuk menanggulangi masalah tersebut, proses produksi dilakukan secara *On Line*, yang dapat melakukan pengukuran secara *real time* dan sekaligus mengendalikan densitas atau konsentrasi rock fosfat P₂O₅ sebagai bahan baku produksi.

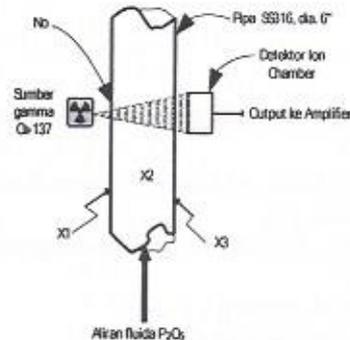
Kendala yang dihadapi pabrik adalah material fosfat merupakan senyawa asam tinggi sehingga sangat merusak instrument pengukur serta pipa penyalur karena korosi, walaupun menggunakan pipa SS316. Temperatur material fosfat yang mengalir berkisar antara 70 °C sampai 100 °C.

Metoda yang tepat untuk proses pengukuran pada kondisi tersebut adalah menggunakan teknik absorpsi radiasi gamma. Metoda ini sangat sederhana karena tidak perlu kontak dengan fluida yang mengalir di dalam pipa yang akan diukur densitasnya, tetapi cukup ditempelkan diluar pipa. Dengan perhitungan kompensasi laju korosi akan didapatkan nilai densitas fluida yang mengalir.

METODA PENGUKURAN

Metoda pengukuran densitas fluida P₂O₅ yang mengalir di dalam pipa

dengan absorpsi radiasi gamma dapat dijelaskan pada Gambar 1. Berikut



Gambar 1 Metoda pengukuran densitas P₂O₅ Menggunakan absorpsi radiasi gamma.

Radiasi gamma yang keluar dari sumber Cs137 mempunyai intensitas No akan diabsorpsi oleh dinding pipa dengan ketebalan X1 kemudian diabsorpsi lagi oleh material fluida P₂O₅ dengan ketebalan X2 yang mengalir di dalam pipa dan terakhir diabsorpsi kembali oleh dinding pipa dengan ketebalan X3 yang akhirnya intensitas tersisa diterima oleh detektor kamar ion. Intensitas radiasi yang diterima detektor akan memenuhi persamaan 1).

$$N = No G e^{-\mu p} \tag{1}$$

dimana : $No = nq \tag{2}$

$$G = \frac{do Vo}{4 \pi R^2} \tag{3}$$

- Q = aktivitas (currie Ci)
- nq = jumlah photon per disintegrasi
- π = 3,14
- do = diameter efektif kamar ion
- Vo = panjang efektif kamar ion
- μ = koefisien absorpsi massa
- p = densitas material yang dilalui berkas radiasi gamma
- x = tebal lapisan yang dilalui berkas radiasi gamma
- G = efektif cross section kamar ion

untuk kasus pengukuran densitas fluida P_2O_5 yang mengalir di dalam pipa akan memenuhi persamaan 4) sebagai berikut :

$$N = N_0 e^{-(\mu_1 \rho_1 x_1 + \mu_2 \rho_2 x_2 + \mu_3 \rho_3 x_3)} \quad (4)$$

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 pipa kiri

ρ_2 = densitas fluida P_2O_5 didalam pipa

ρ_3 = densitas pipa kanan

karena tebal dan material pipa tetap maka μ_1 , μ_3 , X_1 , X_3 , ρ_1 , ρ_3 dapat dianggap konstan, dengan demikian intensitas radiasi yang diterima oleh detektor dapat dinyatakan dengan persamaan 5) dan 6).

$$N = N_0 G e^{-(K_1 + (\mu_2 \rho_2 X_2) + K_3)} \quad (5)$$

$$N = N_0 G A e^{-\mu_2 \rho_2 X_2} \quad (6)$$

Arus yang dihasilkan oleh ion chamber akan memenuhi persamaan 7)

$$I = E_0 N n v e^{-\mu_2 \rho_2 X_2} \quad (7)$$

E_0 = elektron charge ion chamber

n = efisien quantum ion chamber

v = jumlah rerata pasangan ion yang terbentuk oleh satu elektron sekunder di dalam kamar ion

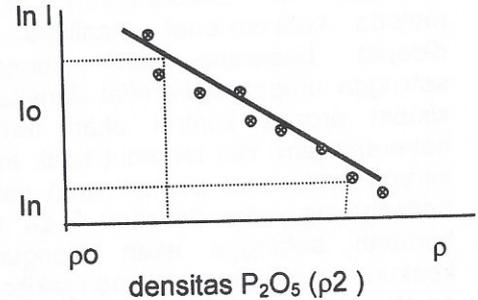
Perubahan arus keluaran kamar ion akibat perubahan densitas P_2O_5 akan memenuhi persamaan 8)

$$\ln I = \ln (E_0 N n v) - (\mu_2 \rho_2 X_2) \quad (8)$$

Bila E_0 , N , n , v , μ_2 , x_2 dianggap konstan maka perubahan arus keluaran kamar ion akibat perubahan densitas P_2O_5 menjadi :

$$d(\ln I) = -d(\rho_2) \quad (9)$$

dan akan memenuhi grafik pengukuran seperti pada gambar 2.



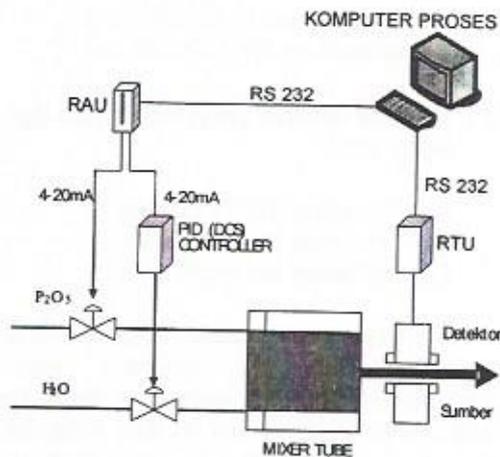
Gambar 2. Grafik pengukuran arus keluaran ion chamber vs densitas P_2O_5

Dari grafik pada Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa arus yang keluar dari kamar ion akan berkurang secara proporsional dengan naiknya densitas aliran P_2O_5 didalam pipa atau konsentrasi aliran fluida P_2O_5 yang mengalir di dalam pipa bertambah maka arus yang keluar dari kamar ion akan berkurang secara proporsional.

KOMPONEN PENGENDALIAN SISTEM

Sistem pengendali proses densitas aliran fluida P_2O_5 yang mengalir di dalam pipa tersusun dari beberapa komponen diantaranya sistem deteksi densitas, remote terminal unit (RTU), komputer proses dan remote aktuator unit (RAU). Hasil pengendalian dari sistem tersebut akan digunakan untuk mempertahankan nilai densitas bahan baku rock posphat P_2O_5 . Nilai densitas telah dikonversi menjadi persen (%) dimana nilai tersebut dipertahankan pada konsentrasi 48 % sampai 51 % kadar P_2O_5 . Ini dilakukan dengan menambahkan air baku H_2O pada unit inlet pipa pencampur dengan membuka dan menutup katup secara proporsional.

Blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3. berikut :



Gambar 3 Sistem proses pengendali densitas (konsentrasi) P_2O_5

Pada sistem tersebut diatas sinyal output dari sensor akan diproses secara digital oleh RTU kemudian difilter dan dikonversi ke besaran komunikasi asynchronous RS-232 sehingga besaran ukur densitas dapat diterima oleh komputer proses. Komputer proses besaran densitas dilinierisasi menggunakan kurva standar yang sebelumnya telah didapat dari hasil kalibrasi sampel standar yang ada di unit laboratorium uji Petrokimia Gresik. Hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk numerik yang dinyatakan sebagai nilai pengukuran densitas P_2O_5 , pada layar komputer.

Nilai pengukuran tersebut juga ditransmisikan ke unit RAU melalui komunikasi asynchronous RS232. Oleh RAU sinyal tersebut dikonversi menjadi sinyal pengukuran densitas dengan standar 4-20 mA, kemudian diinjeksikan ke unit *Proportional Integral Controller* yang berfungsi untuk membuka dan menutup katup secara proporsional *pulse duration* terhadap aliran fluida H_2O , sebagai pengencer fluida Posphat P_2O_5 .

PROGRAM KOMPUTER

Sistem Operasi

Sistem operasi (*operating system*) yang digunakan di dalam komputer proses adalah DOS sehingga multitasking tidak dapat dilakukan oleh Komputer Proses pengendali. Syarat ini sesuai dengan standar operasi yang berlaku bagi Komputer Proses sebagai pengendali yang tidak boleh digunakan untuk tugas lain pada saat unit SP36 Plan bekerja.

Komunikasi Operator dengan Komputer Proses

Komunikasi antara operator dengan komputer proses adalah konsep umum kerja sama antara manusia dengan alat, yaitu dengan memperhatikan sifat perbedaan dari keduanya untuk dapat saling mengisi. Sistem komunikasi ini mempunyai kontribusi besar terhadap kehandalan dan keselamatan sistem secara menyeluruh. Kesalahan manusia (*human error*) adalah yang perlu ditekan oleh sistem komunikasi ini. Berkaitan dengan komputer proses sebagai pengolah perhitungan, penampil variabel proses dan pengendalian proses maka komunikasi ini dibangun berdasarkan data yang diperlukan dalam operasi unit Plan SP36, data tersebut adalah:

a. Informasi statis

Parameter proses yang harus dimasukkan oleh Operator ke komputer proses sebelum proses pengendalian dimulai yaitu: memasukkan data pengukuran densitas untuk mendapatkan standar kurva kalibrasi sehingga didapat nilai A dan nilai B pada persamaan linier $Y=AX+B$, memasukkan data pembukaan *valve inlet* P_2O_5 yang disesuaikan dengan *flow rate* proses produksi dan *set point* konsentrasi P_2O_5 yang diinginkan. Dalam memasukan data tersebut dipakai program dengan menu tampilan *SetKalib* dan setelah di *Execute* menghasilkan file *Kalib.dat*,

Execute menghasilkan file Kalib.dat, kemudian dalam pelaksanaan proses, file ini akan dibaca oleh program utama pengendalian proses sebagai seting awal operasi.

b. Informasi dinamis

Tampilan proses pada monitor dapat dipilih melalui menu tampilan yang terdiri dari tiga halaman (frame) yaitu tampilan mimic, tampilan trend dan tampilan *Set point*. Pada awal proses menu tampilan selalu menampilkan mimic proses yang meliputi pengukuran variabel proses berupa nilai numerik. Setelah itu operator dapat memilih tampilan yang lain sesuai kebutuhan dan dapat juga memasukkan nilai seting untuk nilai pembukaan valve inlet P_2O_5 pada saat operasi berlangsung, kecuali proses kalibrasi. Tampilan trend akan memperlihatkan kecenderungan hasil pengendalian antara *set point* dengan hasil pengukuran konsentrasi P_2O_5 .

Pada saat nilai pengukuran melebihi nilai *set point*, sistem kontrol mengurangi pembukaan *valve inlet* P_2O_5 secara *proportional integral derivative* sebaliknya bila nilai pengukuran di bawah nilai *set point*, sistem kontrol akan menambahkan bukaan valve inlet P_2O_5 secara *proportional integral derivative*.

Bentuk tampilan proses selalu terlihat pada monitor komputer dan perubahan nilai variabel proses pada monitor tersebut akan selalu aktif dengan indikasi perubahan nilai pengukuran setiap saat yang pertanda proses kontrol sedang bekerja. Operator masih diberi kesempatan untuk memilih menu-menu tampilan yang sesuai dengan keperluan operator pada saat proses sedang bekerja, dengan mouse untuk merubah posisi kursor.

Pemrograman

Bahasa pemrograman C dengan Compiler Borland C versi 3.0 digunakan untuk mengimplementasikan pengendalian densitas aliran fluida P_2O_5

ini. Secara garis besar program tersebut mempunyai dua kelompok tugas yaitu:

- Routine Proses kalibrasi yang menghasilkan file Setkalib.dat
- Routine operasi yang terdiri dari tiga page yaitu :
 - a) Tampilan mimic proses
 - b) Tampilan trend proses
 - c) Tampilan *set point*

Program tersebut ditulis dalam sp36-31.c, graph.c, mouse.c, menu.c dan sp36.h dimana sp36-31.c berfungsi sebagai program main routine integrator dan proses kontrol, graph.c berfungsi sebagai pengolah grafik tampilan, mouse.c berfungsi sebagai pengatur kursor pilihan tombol menu, menu.c berfungsi sebagai pengatur bentuk menu tampilan dan sp36.h berfungsi sebagai pengatur komunikasi serial asinkronous dengan remote terminal unit serta remote aktuator unit, menentukan protokol komunikasi, menentukan address komunikasi dan menentukan jumlah kanal variabel pengukuran. Diagram alir (flowchart) utama dari program tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Parameter seting kontrol adalah informasi statis yang harus dimasukan didalam program yang dipakai sebagai acuan beroperasinya proses kontrol. Parameter ini dimasukan cukup sekali pada saat awal sebelum operasi dan untuk selanjutnya tidak diperlukan lagi kecuali bila terjadi perubahan sistem proses pada plan P_2O_5 .



Gambar 4: Peta alir (flowchart) utama

Dalam routine operasi dimana pengendalian bertugas menjaga agar hasil proses P_2O_5 sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan pabrik, maka dibentuk routine proses kontrol dan beberapa subroutine penunjang sebagai berikut:

SubRoutine Proses Kalibrasi

Routine ini melakukan pengambilan data, pengolahan least square, sehingga menghasilkan persamaan proses $Y = A X + B$ dimana X = data pengukuran dan Y merupakan variabel tampilan.

SubRoutin Proses Kontrol

Routine ini melakukan pembacaan data *setpoint* Konsentrasi P_2O_5 , proses data akuisi pengolahan data analog ke data digital, dan pengendalian proporsional-integral yang hasilnya merupakan variabel kendali

yang akan digunakan untuk membuka menutup aktuator Valve dengan standar 4-20 mA, dimana cuplikan program pengendalian nya sebagai berikut:

```

void Control(void)
{
    lpcntr++;
    terr1=terr0;
    terr2=terr1;db=zfl[1]+4.0;//db=deadban
d
    terr0=db-zfl[2]; //Error=BW-Temp
    minerror=zfl[2]-zfl[1]; //Minus Error
    sprintf(str,"%4.2f",minerror); //Test
    digital minerror
    TulisStr(351,470,str,1,15,1);
    if(minerror>=0.0)
    {
        BKomunikasi();
        delay(minerror*100.0);//300.0
    }
    if (terr0<=0.0) terr0=0.0;
    delta_mt=kp*(terr0-
    terr1)+ki*terr0+kd*(terr2*terr1+terr2);
    mt+=delta_mt;
    if(lpcntr>=10)
    {
        mt=0; lpcntr=0;
    }
    //batas max/min
    if(mt>mtmax) mt=mtmax;
    if(mt<mtmin) mt=mtmin;
    //kirim ke output control
    mact(mt);
}

void mact(float outputT)
{
    float dcycle,ontimeT;
    if(outputT>=0.0)
    {
        dcycle=outputT/mtmax;
        ontimeT=dcycle*periode;
    }
    setcolor(1);
    outtextxy(130,470,"ON:");
    sprintf(str,"%4.2f",ontimeT);
    TulisStr(200,470,str,1,15,1);
    AKomunikasi(ontimeT);
}
    
```

SubRoutine Tampilan

Routine ini meliputi program khusus untuk tampilan proses trend, mimic dan numerik yang dilengkapi menu tampilan dan fasilitas backup data ke harddisk dan diskdrive.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Pengukuran dan Pengendalian Densitas

Kalibrasi pengukuran dan pengendalian densitas selalu dilakukan pengujian ulang dengan hasil pengukuran laboratorium uji setiap 12 jam. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga kestabilan pengendalian proses dari kegagalan komputer maupun sistem elektronik yang digunakan Data pengukuran dan pengendalian densitas (konsentrasi) P_2O_5 yang dilakukan di Unit Proses SP36 Petrokimia Gresik dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil pengukuran didapat persamaan linier $Y = 0,085429 X - 142,997917$ dimana X adalah nilai digital pengukuran di komputer sedangkan Y uji sampel lab di Petrokimia Gresik. Koefisien korelasi linier pengukuran adalah $r = 0,985$. Dari Tabel 1 hasil pengukuran dan pengendalian densitas dianalisa bahwa hasil uji laboratorium Petrokimia untuk sampel P_2O_5 44,17% ternyata hasil pengendalian oleh sistem yang dibuat sebesar 44,35 % dengan perbedaan 0,81%, begitu juga dengan sampel uji P_2O_5 51,50 % akan terbaca oleh sistem yang dibuat sebesar 51,78% dengan perbedaan sebesar 0,28%.

Tabel 1. Tabel Hasil Pengukuran dan Pengendalian Densitas P_2O_5

Uji Sample Lab Petrokimia Gresik	Digital Pengukuran Alat yang dibuat	Hasil Pengendalian Alat yang dibuat setelah dikonversi ke Konsentrasi (%)
P_2O_5 (%) / gr/dm ³	Numerik / P_2O_5 (%)	P_2O_5 (%) / gr/dm ³
44,17 (1170,4)	2193 / 44,35%	44,35 (1170,7)
45,71 (1178,6)	2215 / 46,22%	46,23 (1181,8)
48,05 (1191,9)	2226 / 47,16%	47,17 (1187,1)
50,59 (1206,0)	2265 / 50,49%	50,50 (1205,5)
51,50 (1210,7)	2280 / 51,78%	51,78 (1212,3)

KESIMPULAN

Dari hasil uji di Pabrik Petrokimia Gresik, metoda pengendalian Proporsional-Integral dan metoda pengukuran menggunakan absorpsi radiasi gamma terhadap densitas aliran P_2O_5 di dalam pipa proses mempunyai kesalahan pengendalian maksimum 4,8 gram/dm³ dan koefisien korelasi $r = 0,985$ sehingga sangat membantu mempercepat proses analisa dan pengendalian secara cepat dan akurat yang akhirnya dapat meningkatkan efisiensi dalam penggunaan bahan baku P_2O_5 .

Keunggulan metoda ini, dapat digunakan untuk pengendalian proses kimia secara on-line, dimana proses pengukuran dan proses pengendalian dapat dilakukan hanya dengan beberapa menit, sedangkan metoda cuplikan memerlukan waktu proses analisa dan pengendalian selama 12 jam dari saat pengambilan sample.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anonymous. "Berthold Radiation Measuring Instruments For Industry", Gmbh & Co KG, D-7547 Bad Wilbad
- [2]. Anonymous "Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics", International Atomic Energy Agency.