

Desain Sistem Deteksi Densitas Cairan Menggunakan Radioaktif Gamma

Robby Kurnia^{1*}, Ahmad Aminudin¹, Djokorayon R².

¹Program Studi Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229. Kota Bandung

²Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir-Batan
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
*e-mail : robby.kurnia11@student.upi.edu

ABSTRAK

Perancangan dan pembuatan desain sistem deteksi densitas cairan menggunakan radioaktif gamma berbasis mikrokontroler Arduino Uno telah dibuat. Karakterisasi sistem deteksi telah dilakukan. Penelitian dilakukan untuk dapat mengetahui desain dari sistem deteksi densitas cairan menggunakan radioaktif gamma dan juga untuk mengetahui karakteristik dari sistem deteksi yang telah dibuat. Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah metoda simulasi dan metoda eksperimen. Dalam tahap perancangan desain sistem deteksi dilakukan simulasi dari beberapa rangkaian komponen elektronika. Kemudian pada tahap pembuatan dan percobaan dilakukan pengecekan tiap komponen dengan melihat keluaran pulsa dengan osiloskop dan display LCD. Metoda karakterisasi dilakukan dengan meletakkan sumber Cs-137 dan detektor NaI(Tl) berhadapan-hadapan dan diantara keduanya diletakkan cairan yang akan diukur. Karakterisasi dilakukan dengan cara membandingkan jumlah cacahan pulsa dengan nilai dari densitas cairan yang diukur. Perubahan nilai cacahan pulsa dipengaruhi oleh intensitas gamma yang mengenai kristal scintillator setelah melewati atenuasi pada cairan yang dipengaruhi oleh densitas. Semakin tinggi densitas cairan maka akan semakin sedikit intensitas gamma yang berhasil melewati cairan dan mengenai kristal sehingga pulsa keluaran pun menjadi sedikit. Desain dari sistem deteksi densitas cairan terdiri dari kristal NaI(Tl), photomultiplier tube, preamp, pulse shaping, mikrokontroler Atmega328 Arduino Uno dan LCD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa densitas cairan memiliki nilai sensitivitas sebesar -0,1827 dan zero drift sebesar 2755,4 serta nilai R2 sebesar 1. Penurunan jumlah cacahan pulsa ditunjukkan oleh tanda negatif pada nilai sensitivitas sistem yang dimana berbanding lurus dengan intensitas gamma yang mengenai kristal scintillator. Dari data pengujian juga didapatkan nilai persentase kesalahan dari sistem deteksi densitas sebesar 0,44%.

ABSTRACT

The design and manufacture of a liquid density detection system using radioactive gamma based on the Arduino Uno microcontroller has been made. Characterization of the detection system has been carried out. The research was conducted to determine the design of the liquid density detection system using radioactive gamma and also to determine the characteristics of the detection system that has been made. The methods used in this research are simulation and experimental methods. In the design stage of the detection system design, a simulation of several series of electronic components is performed. Then at the stage of manufacture and experiment, each component is checked by looking at the pulse output with an oscilloscope and LCD display. The characterization method is carried out by placing the Cs-137 source and NaI(Tl) detector face to face and between the two the liquid to be measured is placed. Characterization is done by comparing the number of pulses with the value of the measured liquid density. The change in the pulse count value is influenced by the intensity of the gamma that hits the scintillator crystals after passing attenuation in the liquid which is influenced by the density. The higher the liquid density, the less gamma intensity will pass through the liquid and hit the crystal so that the output pulse becomes a little. The design of the liquid density detection system consists of NaI (Tl) crystals, photomultiplier tubes, preamps, pulse shaping, Atmega328 Arduino Uno microcontroller and LCD. The test results show that the liquid density has a sensitivity value of -0.1827 and zero

drift of 2755.4 and an R2 value of 1. The decrease in the number of pulses is indicated by a negative sign in the system sensitivity value which is directly proportional to the gamma intensity on the scintillator crystal. . From the test data also obtained the percentage of error value of the density detection system is 0.44%

Kata kunci: Densitas, Gamma, Deteksi, Scintilasi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sistem pengendalian densitas P₂O₅ pada produksi pupuk SP36/superfosfat Petrokimia pada awalnya menggunakan metoda cuplikan dimana setiap 3 jam diambil *sample* untuk dianalisa di laboratorium menggunakan metoda konvensional. Setelah dianalisa hasilnya akan keluar beberapa jam kemudian, sehingga *feedback* nilai densitas ke sistem proses kontrol memerlukan *delay* beberapa jam. Hal tersebut akan tidak efisien karena pada saat pemeriksaan *sample* berlangsung, nilai densitas P₂O₅ telah berubah sehingga akan mengurangi keakuratan dalam memperoleh hasil produksi yang akhirnya akan terjadi pemborosan bahan baku. (Djokorayono dkk., 2007)

Pada proses granulasi atau pencampuran bahan P₂O₅ tersendiri yaitu suhu, tekanan dan sifat proses yang ekstrim. Dibutuhkan alat yang dapat mengatasi tantangan tersebut. Maka dengan menggunakan radioaktif gamma kendala tersebut dapat teratasi, karena sistem pengukuran radioaktif gamma tidak memerlukan

$$I(t) = I(0)e^{-\mu\rho t} \quad \text{kontak}$$

langsung dengan bahan, tidak berefek pada tekanan maupun proses kimia dan tidak merusak bejana/pipa. Proses ini mempunyai tingkat korosif yang tinggi sehingga sangat

$$d(\ln I) = -d(\rho)$$

mempercepat kerusakan komponen instrumen proses, terutama terhadap sensor yang memerlukan kontak mekanik. Oleh karena itu sistem pengukuran radioaktif gamma memiliki keuntungan.

Pada penelitian sebelumnya telah dibuat sistem pengukuran dan pengontrolan densitas cairan dengan menggunakan detektor *ion chamber* sebagai detektornya (Djokorayono.,2007). Dewasa ini penggunaan detektor scintilasi sangat banyak dipakai. Detektor scintilasi memiliki sensitivitas foton yang sangat tinggi sehingga dapat memberikan

respon yang jauh lebih besar daripada *ion chamber*. Kristal *Scintillator* memiliki massa atom dan nomor atom yang besar dibandingkan udara sehingga memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dalam rentang energi yang luas (Knoll.,2000).

Landasan Teori

Sinar gamma merupakan pancaran energi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan karena tingkat energi inti tidak berada pada keadaan dasar. Pancaran radiasi gamma tidak berdiri sendiri, tetapi bersamaan dengan peluruhan alfa, beta, atau tangkapan elektron. Seperti halnya atom, inti akan mencapai keadaan dasar (stabil) dengan memancarkan foton (gelombang elektromagnetik) yang dikenal dengan sinar gamma (γ). Dalam proses pemancaran ini, baik nomor atom atau nomor massa inti tidak berubah.

Peluang terjadinya interaksi antara radiasi gamma dengan bahan ditentukan oleh koefisien absorpsi linier (μ). Ada tiga proses utama yang dapat terjadi apabila radiasi gamma melewati bahan, yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan.

Saat berkas foton dengan intensitas $I(0)$ mengenai target dengan ketebalan t , massa jenis ρ dan koefisien atenuasi μ , maka nilai $I(t)$ ditunjukkan dengan persamaan berikut.

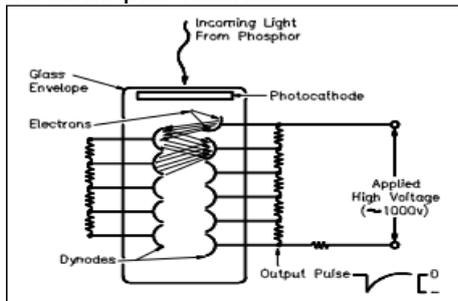
Jika nilai t , μ dan I_0 dianggap konstan, dan persamaan diatas diubah menjadi \ln maka didapatkan persamaan yang menghubungkan antara intensitas dan densitas yang ditunjukkan oleh persamaan berikut.

Dari persamaan tersebut dapat dilihat hubungan linear antara intensitas dengan densitas cairan *sample*. Tanda negatif pada densitas menunjukkan bahwa saat densitas cairan yang diukur naik maka intensitas sinar gamma yang melewati cairan akan semakin menurun. Begitu pula sebaliknya, saat densitas cairan turun maka akan semakin tinggi intensitas sinar gamma yang melewati cairan.

Detektor Scintilasi adalah detektor radiasi yang menggunakan kristal kilau (flourosens) untuk mendeteksi energi radiasi sehingga

menghasilkan cahaya pada kristal scintillator. Cahaya yang dihasilkan scintillator diperkuat oleh PMT (photomultiplier tube) dan menghasilkan pulsa.

Terdapat dua pita energi di dalam kristal yaitu pita valensi dan pita konduksi. Material yg terisolasi seperti NaI dalam keadaan normalnya pita valensi penuh dan pita konduksi kosong. Radiasi yang datang bisa mengeluarkan elektron melewati energi gap menuju pita konduksi, nantinya itu akan kehilangan energi dengan mengemisikan sebuah foton dan jatuh kembali ke pita valensi.



Gambar. 1 : Proses Scintillasi pada detektor (Krane & Halliday, 1987)

Foton yang dihasilkan scintillator masuk ke PMT dan mengenai fotokatoda yang terbuat dari material yang memancarkan elektron saat cahaya mengenainya. Elektron yang dikeluarkan oleh fotokatoda diarahkan dengan menggunakan medan listrik menuju dynode pertama. dynode dilapisi dengan zat yang memancarkan elektron sekunder saat elektron mengenainya. Eletron sekunder dari dynode pertama berpindah ke dynode kedua lalu ke dynode ketiga dan seterusnya.

Kebanyakan detektor menghasilkan muatan yang kecil yang membuat tidak dapat digunakan untuk pengolahan pulsa sehingga dibutuhkan sebuah preamp. Modul pulse shaping biasanya terhubung setelah preamp. Metoda yang digunakan pada pulse shaping adalah kombinasi rangkaian RC seperti contoh rangkaian berikut, sebuah rangkaian CR-RC. Bentuk dan ukuran pulsa keluaran bergantung pada besarnya nilai konstanta waktu RC tiap rangkaian (Tsoulfanidis & Landsberger, 2015).

Rumusan Masalah

1. Bagaimana desain sistem deteksi densitas cairan menggunakan radioaktif gamma?
2. Bagaimana Karakteristik sistem deteksi densitas cairan menggunakan radioaktif gamma dalam mendeteksi densitas cairan?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

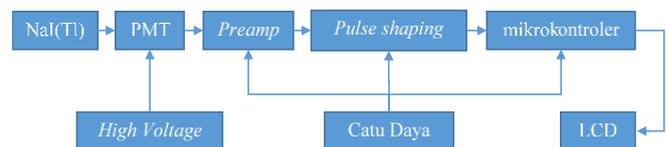
1. Mendesain sistem deteksi densitas cairan menggunakan radioaktif gamma.
2. Mengetahui karakteristik sistem deteksi densitas cairan menggunakan radioaktif gamma dalam mendeteksi densitas cairan.

METODE

Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada maret 2020 – juli 2020 dan bertempat di Laboratorium Instrumentasi Nuklir Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir.

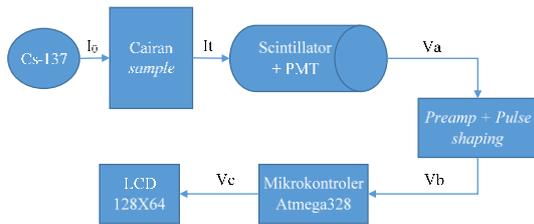
Keseluruhan sistem deteksi densitas dengan radioaktif gamma terdiri dari beberapa komponen yang saling terhubung satu sama lain sehingga membentuk blok sistem deteksi densitas gamma. Hubungan tiap-tiap komponen tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok sistem deteksi densitas

Mula-mula sumber radioaktif yaitu Cs-137 memancarkan sinar gamma melewati cairan yang dideteksi. Pada saat pemancaran sinar gamma tersebut ada yang terhambat/terlemahkan dan ada yang diteruskan dan mengenai detektor. Detektor akan merubah radiasi yang berbenturan dengan NaI(Tl) menjadi fotoelektron. Selanjutnya fotoelektron tersebut dilipatgandakan dan menghasilkan pulsa analog. Pulsa analog hasil dari pelipatgandaan oleh *photomultiplier tube* (PMT) akan diperkuat dengan menggunakan *preamp*. Setelah melewati *preamp* pulsa kemudian masuk ke rangkaian *pulse shaping* yaitu *pole zero* untuk mengatasi *overshoot* pada sinyal kotak. Kemudian sinyal masuk ke *pulse shaping* dan setelah itu pulsa masuk ke *counter* yang ada di mikrokontroler Atmega328 Arduino Uno. Dengan menggunakan pemograman Arduino IDE dibuat *sketch* program yang diunggah ke Arduino agar dapat menghitung jumlah cacahan pulsa TTL perdetiknya. Untuk mendapatkan nilai pengukuran yang lebih stabil maka ditambahkan *smoothing* pada pemograman Arduino yang

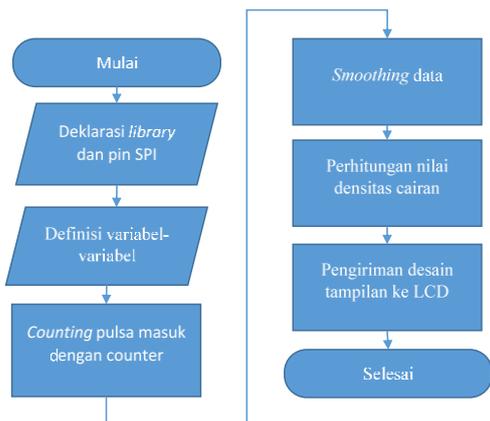
dimasukkan. Hasil dari olahan pulsa tersebut ditampilkan pada LCD yang menampilkan jumlah cacahan pulsa dan besar densitas dari cairan tersebut (SM, 2015).



Gambar 3 Susunan komponen elektronika sistem deteksi densitas

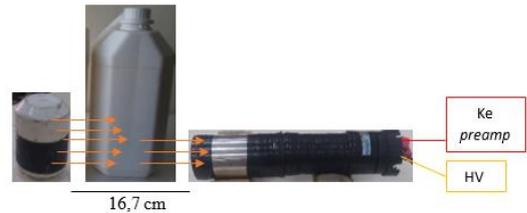
Dari gambar diatas diketahui I_0 adalah intensitas awal sinar gamma, I_1 adalah intensitas sinar gamma setelah melewati atenuasi, V_a adalah pulsa analog keluaran PMT, V_b adalah pulsa TTL keluaran pulse shaping dan terakhir V_c adalah komunikasi serial antara mikrokontroler dan LCD.

Selain perancangan perangkat keras, perangkat lunak juga harus dipersiapkan. Perancangan perangkat lunak dilaksanakan dengan membuat diagram alir yang berupa langkah-langkah pemograman sistem deteksi densitas gamma. Diagram alir pemograman ditunjukkan pada gambar 4



Gambar 4 Diagram alir pemograman mikrokontroler Atmega328

Sample terdiri dari 3 macam cairan dengan densitas yang berbeda-beda. Cairan sample yang digunakan adalah air dengan densitas 1000 Kg/m³, P2O5 dengan densitas A=1475 Kg/m³ dan P2O5 dengan densitas B=1436 Kg/m³. Cairan tersebut dimasukkan ke dalam jerigen dengan volume yang sama.



Gambar 5 Tata letak alat dan *sample* kalibrasi
Cairan sample diletakkan di antara detektor dan sumber. Jarak antara detektor dan sumber adalah 16,7 cm dan ketebalan jerigen yang digunakan adalah 11,5 cm. Tata letak pada saat kalibrasi ditunjukkan dengan gambar 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran didapat data hubungan densitas dengan jumlah cacahan pulsa. Data yang diperoleh pada pengujian ini adalah besar densitas cairan dan cps (count per second) / cacahan pulsa TTL. Jumlah cacahan pulsa menunjukkan intensitas dari sinar gamma yang mengenai detektor. Terdapat hubungan antara intensitas dan densitas cairan. Dengan persamaan yang menunjukkan proses perubahan intensitas seperti berikut

$$I = I_0 e^{-(\mu_1 \rho_1 x_1 + \mu_2 \rho_2 x_2 + \mu_3 \rho_3 x_3)}$$

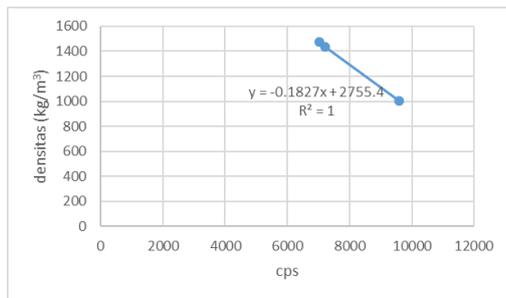
- $\mu_1 =$ koef absorpsi massa bejana x
- $\mu_2 =$ koef absorpsi massa P2O5 x2
- $\mu_1 =$ koef absorpsi massa dirigen x3
- X = tebal dinding bejana proses kiri
- X2 = tebal lapisan cairan P2O5
- X3 = tebal dinding bejana proses kanan
- $\rho_1 =$ densitas bejana proses kiri
- $\rho_2 =$ densitas cairan P2O5
- $\rho_1 =$ densitas bejana proses kanan

Dari pengujian yang dilakukan didapat data densitas dan jumlah cacahan pulsa yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 data pengujian sistem deteksi densitas

CPS	Hasil Pengukuran sistem deteksi Air & P ₂ O ₅ (ρ Kg/m ³)	Sample Air & P ₂ O ₅ (ρ Kg/m ³)
9588	1003,64	1000
7225	1435,45	1436
7014	1473,95	1475

Hasil yang didapatkan berfluktuasi yang disebabkan oleh high voltage yang digunakan dan probabilitas inti yang memiliki keseimbangan di suatu titik plus minus untuk memancarkan sinar radioaktif gamma. Pancaran sinar gamma tidak dapat dipastikan namun memiliki probabilitas pada rentang nilai tertentu. Oleh karena itu diperlukan suatu teknik agar nilai yang tampil pada LCD tidak berubah terlalu besar. Cara yang digunakan agar tampilan data tidak berfluktuasi terlalu besar adalah dengan menambahkan program smoothing pada pemrograman arduino. Pada saat yang sama arduino menghitung sebanyak 20 data dengan menggunakan pemrograman freqcount. Freqcount akan menghitung banyaknya jumlah cacahan pulsa yang masuk ke arduino. Jumlah cacahan pulsa yang didapat oleh masing-masing data dijumlahkan dan dibagi dengan 20. Nilai rata-rata dari keseluruhan data akhir ditampilkan sebagai cps (count per second). Dengan menggunakan smoothing didapatkan nilai cps yang lebih stabil dan fluktuasi yang lebih rendah.



Gambar 6 Grafik data pengujian sistem deteksi densitas

Dari data didapatkan persentase kesalahan sistem deteksi sebesar 0,44 % ($6,485 \text{ Kg/m}^3 \approx 30 \text{ cps}$). Dari grafik 4.16 didapatkan nilai sensitivitas sebesar -0,8127 dengan nilai X adalah jumlah cacahan pulsa dan Y adalah nilai densitas cairan yang diukur. Koefisien korelasi yang didapatkan adalah $R^2 = 1$ dan nilai zero drift yang didapatkan adalah 2755,4.

Diperoleh gradien atau kemiringan sebesar -0,1827, besar gradien tersebut menunjukkan sensitivitas detektor atau kecepatan detektor dalam mengakusisi data cacahan pulsa yang diubah menjadi densitas. Tanda negatif pada gradien menunjukkan cacahan pulsa detektor akan mengalami penurunan setiap kali kenaikan densitas cairan.

Penurunan jumlah cacahan pulsa terjadi karena berkurangnya intensitas radiasi gamma yang mengenai kristal NaI(Tl) pada detektor. Hal

ini disebabkan oleh radiasi sinar gamma yang terhalang atau teratenuasi ketika melewati cairan yang sedang diukur. Seiring dengan meningkatnya densitas maka semakin tinggi pula koefisien atenuasi dan membuat intensitas sinar gamma melewati cairan menurun. Dan sebaliknya ketika densitas cairan turun maka koefisien atenuasi menurun yang membuat intensitas radiasi gamma akan meningkat.

Intensitas sinar gamma yang kecil pada saat mengenai kristal membuat berkurangnya foton keluaran dari kristal. Foton yang sedikit mengakibatkan berkurangnya fotoelektron keluaran dari fotokatoda. Elektron tersebut dilipatgandakan di dalam tabung PMT oleh dynode-dynode yang saling menyambut. Di ujung rantai penduplikasian dynode elektron dikumpulkan pada anoda. Semakin berkurangnya elektron maka akan mengurangi arus keluaran dari detektor. Arus keluaran detektor melewati rangkaian-rangkaian elektronika yang akan membentuk pulsa dan terakhir dalam bentuk pulsa TTL. Pulsa tersebut berbanding lurus dengan arus keluaran detektor. Keluaran pulsa dari detektor menurun yang akhirnya ditandai dengan berkurangnya jumlah cacahan pulsa.

PENUTUP

Berdasarkan penelitian, pengolahan data dan analisa data yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pertama, desain dari sistem deteksi densitas cairan yang telah dibuat berupa sistem deteksi densitas dengan rangkaian yang sengaja ditampilkan untuk tujuan pembelajaran. Sistem deteksi densitas terdiri dari komponen-komponen yang menyatu sehingga dapat menampilkan nilai densitas suatu cairan dari pancaran sinar gamma. Komponen tersebut terdiri dari kristal NaI(Tl), PMT, *preamp*, *pulse shaping*, mikrokontroler Atmega328 dan LCD.

Kedua, hasil dari output tiap rangkaian menunjukkan pengolahan pulsa yang berakhir dengan pulsa TTL yang akan dihitung oleh arduino uno. Hasil dari pengujian detektor menunjukkan nilai sensitivitas sebesar -0,8127, zero drift sebesar 2755,4 dan R^2 sebesar 1. Dari data pengujian didapatkan persentase kesalahan sistem deteksi densitas adalah 0,44%.

Cairan sample diletakkan di antara detektor dan sumber. Jarak antara detektor dan sumber adalah 16,7 cm dan ketebalan jerigen

yang digunakan adalah 11,5 cm. Tata letak pada saat kalibrasi ditunjukkan dengan gambar 5.

DAFTAR PUSTAKA

- Djokorayono, R., Jamil, A., & Junus. (2007). sistem monitoring dan pengendalian densitas aliran fluida p2o5 pada pembuatan pupuk sp-36 petrokimia gresik yang menggunakan technique gammma radioactive. *Jurnal Perangkat Nuklir*, 1–10.
- Djokorayono, R., Jamil, A., Junus, & Sobari, I. (2007). SISTEM MONITORING DAN KENDALI DENSITAS ALIRAN FLUIDA P2O5 MENGGUNAKAN RADIOAKTIF GAMMA. *Jurnal Perangkat Nuklir*, 1–13.
- Knoll, G. F. (2000). *Radiation Detection and Measurement, 3rd ed - (Wiley, 2000).pdf* (third). John Wiley & Sons, Inc.
- SM. (2015, July 29). Arduino - Smoothing. Retrieved July 15, 2020, from <https://www.arduino.cc/en/tutorial/smoothing>
- Tsoulfanidis, N., & Landsberger, S. (2015). *measurement & detection of radiation* (4th ed.). Boca Raton. Retrieved from CRC Pess