



SISTEM DETEKSI DENSITAS FLUIDA DI DALAM PIPA MENGGUNAKAN TEKNIK SERAPAN RADIASI GAMMA

Indarzah MP¹, Rony Djokorayono² dan Utomo³

^{1,2,3} Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

SISTEM DETEKSI DENSITAS FLUIDA DI DALAM PIPA MENGGUNAKAN TEKNIK SERAPAN RADIASI GAMMA. Pengukuran densitas fluida korosif di dalam pipa yang dilakukan dengan metode non kontak dengan teknik serapan radiasi gamma memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode kontak langsung dengan fluida. Keunggulan yang utama adalah dapat dilakukan proses kontrol secara real time, pengukuran dilakukan secara on-line dan minim perawatan. Selain itu proses pengukuran tidak terpengaruh oleh warna, viskositas, konduktivitas dan sifat kimiawi dari materi. Pada penelitian ini telah dilakukan proses perancangan sistem deteksi densitas fluida yang tersusun dari modul Kristal dan PMT (Photomultiplier Tube), modul pre-amp, modul tegangan tinggi, modul pembentuk pulsa dan modul transmitter 4-20mA, dengan hasil berupa skema konfigurasi modul dan tata letak komponen pada PCB.

Kata kunci: Photomultiplier Tube, tegangan tinggi, pembentuk pulsa, transmitter 4-20mA.

ABSTRACT

FLUID DENSITY DETECTION SYSTEM IN THE PIPELINE USING GAMMA RADIATION ABSORPTION TECHNIQUE. Non-contact corrosive fluid density in the pipe measurements method with gamma radiation absorption technique has several advantages over methods of direct contact with the fluid. The main advantage is that it can be done in real time process control, on-line measurement and minimal maintenance. Measurement is independent of color, viscosity, conductivity and most chemical properties of the product. In this study has been carried out the design process fluid density detection system composed of crystalline modules and PMT (Photo Multiplier Tube), pre-amp module, high voltage module, pulse shaping module and 4-20mA transmitter module, with the results of the module configuration schematic and PCB component layout.

Keywords: Photomultiplier Tube, high voltage, pulse shaping, transmitter 4-20mA.

1. PENDAHULUAN

Pengukuran densitas fluida di dalam pipa dapat dilakukan dengan beberapa metode. Metode yang biasa dilakukan adalah metode kontak dengan mencuplik material tersebut, kemudian dilakukan analisis di laboratorium. Kelemahan dari metode ini adalah hasil analisis akan diperoleh dalam beberapa waktu kemudian.

Untuk mempersingkat waktu analisis, dilakukan dengan pengukuran langsung di lokasi dengan menggunakan instrumentasi elektronik. Untuk pengukuran densitas fluida yang bersifat asam tinggi dan bertemperatur 70°C sampai 100°C, seperti *slurry* P₂O₅ pada produksi pupuk SP36, dapat menyebabkan korosi pada pipa penyalur walaupun sudah menggunakan pipa dengan bahan SS316. Pada kondisi yang seperti ini memungkinkan juga merusak instrumentasi pengukuran.

Untuk mengatasi masalah tersebut dapat digunakan metode yang lain yaitu metode non kontak dengan teknik penyerapan radiasi gamma. Dengan metode ini dilakukan proses pengukuran secara langsung dan *on-line* tetapi tidak terjadi kontak langsung dengan material yang

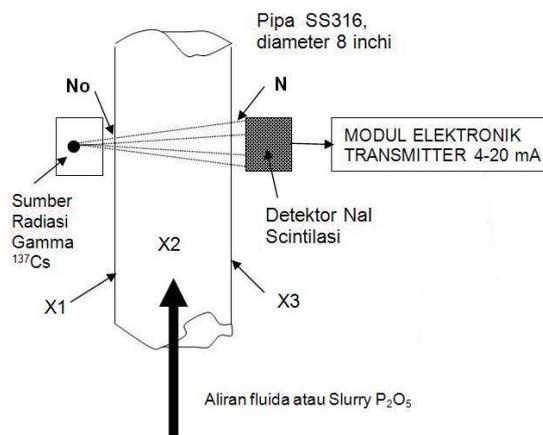


akan diukur, sehingga tidak terjadi kerusakan instrumentasi pengukuran yang diakibatkan oleh material yang akan diukur. Manfaat yang lain adalah waktu pengukuran yang singkat atau *real time*, sehingga apabila digabungkan dengan proses kontrol di industri akan meningkatkan efisiensi bahan baku yang tinggi.

Pada penelitian ini akan dirancang sistem pengukur densitas fluida di dalam pipa dengan metode penyerapan radiasi gamma. Dengan menggunakan *sample slurry* P_2O_5 diharapkan sistem mampu mendeteksi keberadaan *sample* dan mengukur densitasnya. Rancangan meliputi sistem deteksi hingga keluaran hasil pengukuran berupa *transmitter* arus 4-20mA.

2. TEORI

Metode pengukuran densitas fluida yang mengalir di dalam pipa dengan penyerapan radiasi gamma dapat dilihat pada Gambar 1, sebagai berikut:



Gambar 1. Metode pengukuran densitas fluida (*slurry* P_2O_5) menggunakan teknik serapan radiasi gamma.

Prinsip kerja dari metode ini adalah sebagai berikut :

Radiasi gamma yang keluar dari sumber ^{137}Cs mempunyai intensitas radiasi N_0 akan diabsorpsi oleh dinding pipa dengan ketebalan X_1 , dan material fluida (*slurry* P_2O_5) dengan ketebalan X_2 yang mengalir di dalam pipa. Intensitas radiasi selanjutnya diabsorpsi oleh dinding pipa dengan ketebalan X_3 . Terakhir intensitas radiasi yang tersisa akan diterima oleh detektor sintilasi. Intensitas radiasi yang diterima detektor akan memenuhi Pers. (1) ^[1] sebagai berikut:

$$N = N_0 e^{-\mu \rho x} \quad (1)$$

Dimana :

- N = intensitas terukur
- N_0 = intensitas sumber radiasi
- μ = koefisien absorpsi massa
- ρ = densitas material yang dilalui berkas radiasi gamma
- x = tebal lapisan yang dilalui berkas radiasi gamma

untuk pengukuran densitas *slurry* P_2O_5 yang mengalir di dalam pipa, akan memenuhi Pers. (2) sebagai berikut:

$$N = N_0 e^{-(\mu_1 \rho_1 x_1 + \mu_2 \rho_2 x_2 + \mu_3 \rho_3 x_3)} \quad (2)$$



Dimana :

- μ_1 = koefisien absorpsi massa pipa dengan ketebalan x_1
- μ_2 = koefisien absorpsi massa *slurry* P_2O_5 dengan ketebalan x_2
- μ_3 = koefisien absorpsi massa pipa dengan ketebalan x_3
- x_1 = tebal dinding pipa kiri
- x_2 = tebal lapisan *slurry* P_2O_5
- x_3 = tebal dinding pipa kanan
- ρ_1 = densitas dinding pipa kiri
- ρ_2 = densitas *slurry* P_2O_5 di dalam 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 $K_1 = \mu_1 \cdot \rho_1 \cdot x_1$ dan $K_3 = \mu_3 \cdot \rho_3 \cdot x_3$ sehingga intensitas radiasi yang diterima oleh detektor dapat dinyatakan dengan Pers. (3-4) sebagai berikut:

$$N = N_0 e^{-(K_1 + (\mu_2 \rho_2 x_2) + K_3)} \quad (3)$$

$$N = N_0 A e^{-\mu_2 \rho_2 x_2} \quad (4)$$

Dengan A suatu konstanta.

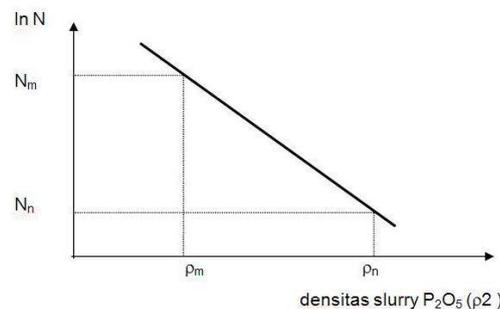
Pers. (4) dapat dituliskan kembali menjadi Pers. (5) sebagai berikut:

$$\ln N = \ln (N_0 A) - (\mu_2 \rho_2 x_2) \quad (5)$$

Bila N_0 , A , μ_2 , x_2 dianggap konstan, maka perubahan intensitas radiasi yang diterima detektor oleh perubahan densitas *slurry* P_2O_5 menjadi :

$$d(\ln N) = - d(\rho_2) \quad (6)$$

dan akan memenuhi grafik seperti pada gambar (2) berikut ini:



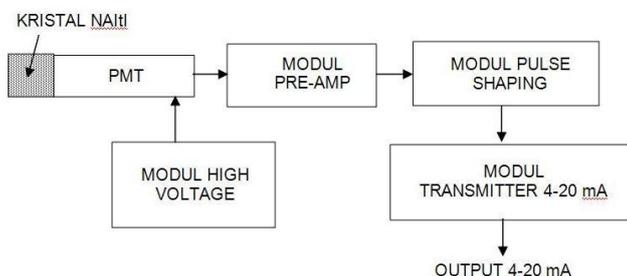
Gambar 2. Grafik hubungan intensitas radiasi terhadap densitas *slurry* P_2O_5

Dari grafik terlihat bahwa intensitas radiasi yang diterima detektor berkurang secara proporsional dengan naiknya densitas *slurry* P_2O_5 di dalam pipa.



3. TATA KERJA RANCANGAN

Blok sistem deteksi densitas fluida tersusun dari modul *pre-amp*, modul tegangan tinggi (*high voltage*), modul pembentuk pulsa (*pulse shaping*) dan modul *transmitter* 4-20 mA seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok sistem deteksi densitas fluida

Apabila ada radiasi yang mengenai kristal sintilasi NaI(Tl), pulsa cahaya akan terjadi dengan jumlah sesuai dengan jumlah radiasi yang diterima. Pulsa cahaya ini akan dideteksi oleh PMT (*Photomultiplier Tube*). Selanjutnya PMT akan menghasilkan pulsa listrik dengan orde mV yang sebanding dengan jumlah pulsa cahaya yang diterima. PMT beroperasi dengan catu daya yang diberikan oleh modul tegangan tinggi (*high voltage*).

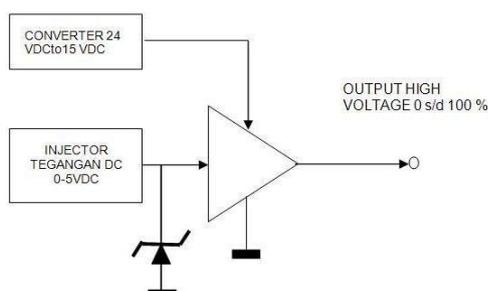
Modul pre-amp akan menguatkan pulsa listrik tersebut sehingga memiliki orde berkisar ratusan mV. Akan tetapi bentuk pulsa listrik tersebut belum sempurna sehingga diperlukan modul pembentuk pulsa (*pulse shaping*) supaya sinyal yang dihasilkan minim dari gangguan dan bentuk pulsa yang dihasilkan berupa gelombang segiempat dengan level 5 VDC. Sinyal ini diproses lebih lanjut oleh modul selanjutnya menjadi keluaran arus dengan rentang 4 sampai 20mA.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan modul berdasarkan blok sistem deteksi densitas fluida yang telah dibuat adalah sebagai berikut :

4.1 Modul Tegangan Tinggi

Konfigurasi modul tegangan tinggi dirancang dengan pilihan komponen menggunakan produk Emco dan komponen pendukung *National Semiconductor*. Masukan satu kanal dengan standard masukan 24 VDC dan keluaran dapat diatur dari 50 VDC sampai 1200 VDC. Gambar konfigurasi blok sistem modul tegangan tinggi dapat dilihat sebagai berikut :

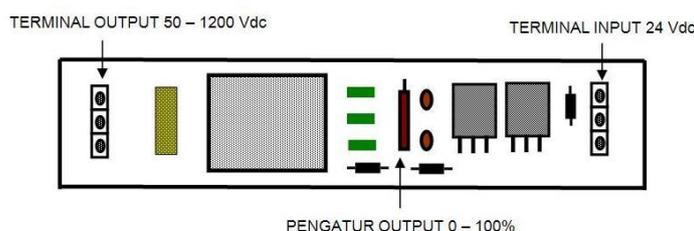




Gambar. 4. Konfigurasi blok sistem modul tegangan tinggi

Konfigurasi modul tegangan tinggi tersusun dari sebuah osilator Emco, sebuah *injektor* tegangan dengan input 24 VDC yang dilengkapi pengatur tegangan dan sebuah *regulator* konverter tegangan 15 VDC dengan input tegangan 24 VDC. Dipilihnya produk Emco & *National Semiconductor*, karena mudah didapat di pasar lokal, *ripple* keluarannya dapat mencapai 0,002%.

Hasil rekayasa dalam membentuk konfigurasi modul tegangan tinggi diimplementasikan dalam bentuk tata letak penempatan komponen elektronik yang disesuaikan dengan konfigurasi blok. Menggunakan *socket* IC standard MC, resistor metal film ketelitian 1%, terminal masukan keluaran standard PLC dan ukuran modul lebar 2,5 cm x panjang 10 cm (maksimum panjang 15 cm). Bentuk konfigurasi tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB dapat dilihat pada gambar berikut:

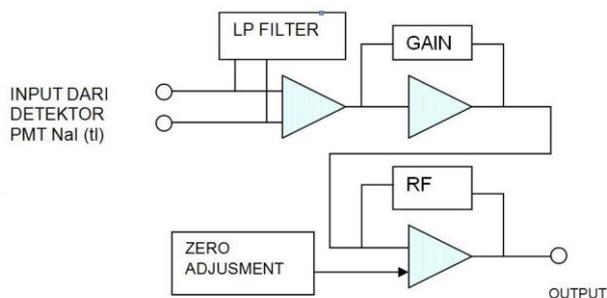


Gambar 5. Tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB modul tegangan tinggi

4.2 Modul Pre-amp

Konfigurasi blok modul pre-amp $\text{NaI}(\text{tl})$ terdiri dari sebuah *differential op-amp wide bandwidth frequency* dan *high slew rate*, sebuah *op-amp buffer* dengan masukan FET yang dilengkapi pengaturan *gain* (penguatan), dan sebuah *op-amp buffer* dengan input FET yang dilengkapi pengaturan *Zero*.

Gambar konfigurasi blok modul sistem pre-amp adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Konfigurasi modul sistem pre-amp

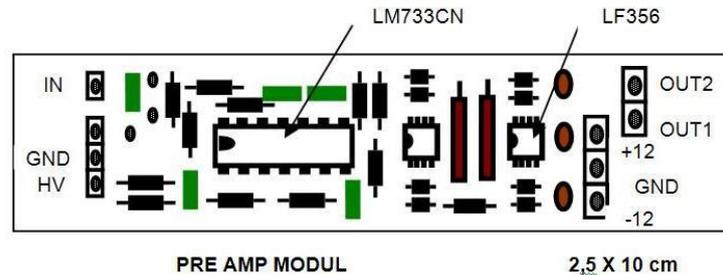
Konfigurasi blok modul pre-amp $\text{NaI}(\text{TI})$ direalisasikan dengan pilihan komponen menggunakan produk *National Semiconductor*, masukan satu kanal dengan masukan pulsa standard orde 100 mVpp dan periode 10 ns, menggunakan catu daya +12VDC, -12VDC.

Hasil rekayasa dalam membentuk konfigurasi pre-amp $\text{NaI}(\text{tl})$ diimplementasikan dalam bentuk tata letak penempatan komponen elektronik yang disesuaikan dengan konfigurasi blok. Menggunakan *socket* IC standard MC, resistor metal film ketelitian 1%, terminal masukan keluaran standard PLC dan ukuran modul lebar 2,5 cm x panjang 5 cm (maksimum panjang 8 cm).



Dipilihnya produk *National Semiconductor*, karena mudah didapat di pasar lokal, harganya lebih murah dibandingkan produk lain yang sejenis.

Konfigurasi tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB dapat dilihat pada gambar berikut :

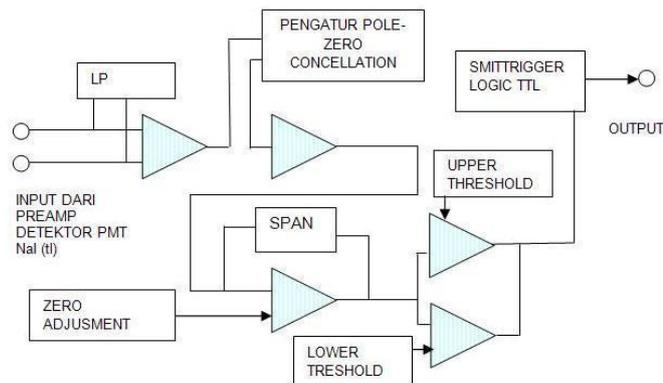


Gambar 7. Tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB pre-amp

4.3 Modul Pembentuk Pulsa

Konfigurasi blok modul pembentuk pulsa tersusun dari sebuah *differential op-amp wide bandwidth frequency* dan *high slew rate*, sebuah *op-amp buffer* dengan input FET yang dilengkapi pengatur *span-zero*, sebuah *op-amp buffer* dengan input FET yang dilengkapi pengatur *pole zero cancelation*, sebuah komparator pengatur jendela tinggi pulsa energi, dan *smith trigger logic TTL*.

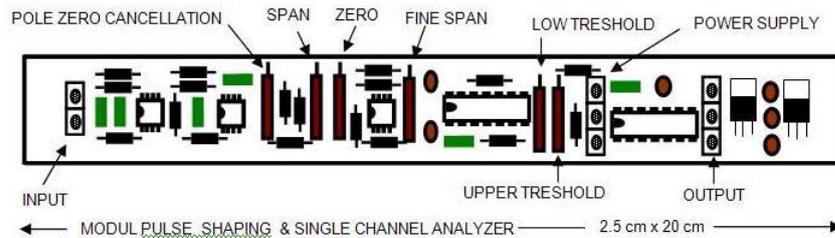
Gambar konfigurasi modul pulse shaping adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Konfigurasi modul pembentuk pulsa

Konfigurasi modul pembentuk pulsa dilakukan dengan pilihan komponen menggunakan produk *National Semiconductor Op-Amp*, input satu kanal dengan standard masukan pulsa orde 100 mVpp dan periode 10 ns, dengan catu daya +12VDC, -12VDC. Menggunakan *socket IC* standard MC, resistor metal film ketelitian 1%, terminal masukan keluaran standard PLC dan ukuran modul lebar 2,5 cm x panjang 20 cm (maksimum panjang 28 cm). Dipilihnya produk *National Semiconductor*, karena mudah didapat di pasar lokal, harganya relatif murah dibandingkan produk lain yang sejenis, spesifikasinya sesuai dengan referensi konsep desain.

Hasil rekayasa dalam membentuk konfigurasi modul *pembentuk pulsa* diimplementasikan dalam bentuk tata letak penempatan komponen elektronik yang disesuaikan dengan blok konfigurasi. Tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB dapat dilihat pada gambar berikut :

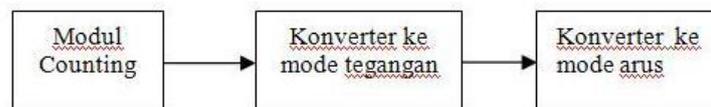


Gambar 9. Tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB modul pembentuk pulsa

4.4 Modul Transmitter 4-20mA

Konfigurasi modul *transmitter* 4-20mA tersusun atas blok pencacah (*counting*) dan blok konverter sinyal ke mode arus. Blok pencacah berfungsi untuk menghitung jumlah pulsa yang diterima dalam rentang waktu tertentu. Blok konverter berfungsi untuk mengubah data counting menjadi tegangan yang selanjutnya akan menjadi masukan dari konverter ke mode arus.

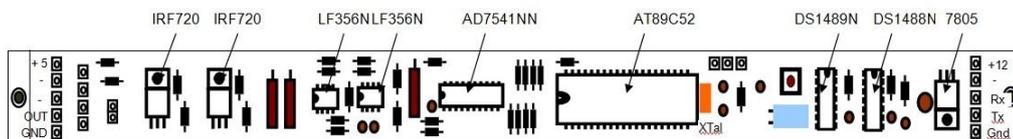
Gambar konfigurasi modul *transmitter* 4-20mA adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Modul transmitter 4-20mA

Konfigurasi modul *transmitter* 4-20mA dilakukan dengan pilihan komponen menggunakan produk *Analog Device* dan *Atmel*, input satu kanal dengan standard masukan pulsa TTL, dengan catu daya +12VDC, -12VDC. Menggunakan *socket IC* standard MC, resistor metal film ketelitian 1%, terminal masukan keluaran standard PLC dan ukuran modul lebar 2,5 cm x panjang 36,5 cm (maksimum panjang 28 cm). Dipilihnya produk *Atmel*, karena mudah didapat di pasar lokal, harganya relatif murah dibandingkan produk lain yang sejenis, spesifikasinya sesuai dengan referensi konsep desain.

Hasil rekayasa dalam membentuk konfigurasi modul *transmitter* 4-20mA diimplementasikan dalam bentuk tata letak penempatan komponen elektronik yang disesuaikan dengan konfigurasi blok. Tata letak penempatan komponen elektronik pada PCB dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 11. Tata letak komponen pada modul transmitter 4-20mA

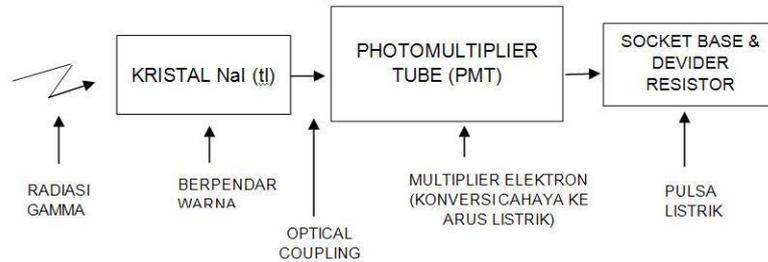
4.5 Modul Kristal Dan PMT

Konfigurasi blok modul kristal NaI(Tl), PMT (*Photomultiplier Tube*) dilakukan dengan pilihan komponen menggunakan produk PMT *Hammamatsu*, masukan berupa paparan radiasi gamma, mendapat catu daya 24 VDC dan HV 950VDC-1200VDC, Menggunakan kristal NaI(Tl) produk *Gamma Muszaki zRt*, resistor metal film ketelitian 1%, terminal masukan keluaran standard PLC



dan ukuran modul lebar 3,5 cm x panjang 40 cm (maksimum panjang 48 cm). Dipilihnya produk Hamamatsu, karena mudah didapat di pasar lokal, harganya relatif murah dibandingkan produk lain yang sejenis.

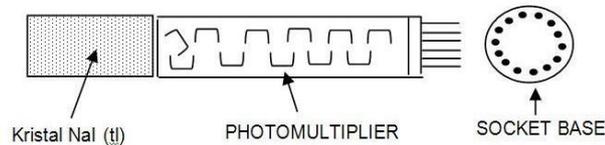
Konfigurasinya blok kristal dan PMT dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar 12. Konfigurasi Blok Kristal NaI(Tl), Socket Base & Photomultiplier Tube

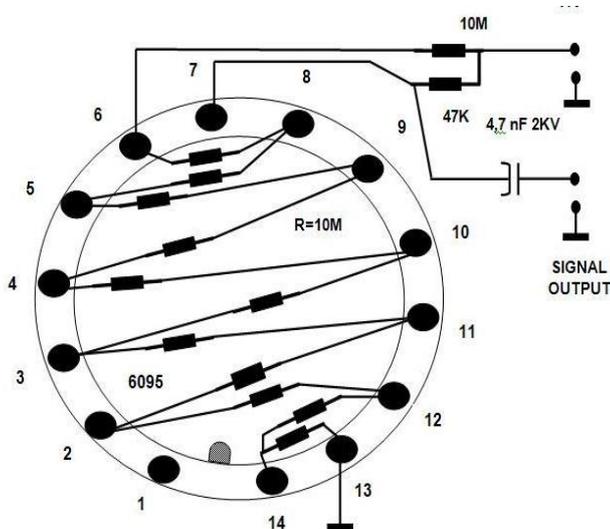
Bentuk konfigurasi blok modul kristal NaI(tl), *Socket Base & Photomultiplier Tube* tersusun dari sebuah Kristal berukuran 25 mm x 31 mm, PMT berukuran 28 mm x 112 mm, dan socket base yang dilengkapi resistor *divider* antar *dynoda*.

Tata letak penempatan komponen elektronik yang disesuaikan dengan konfigurasi blok, menjadi bentuk integrasi penempatan komponen elektronik *probe* sistem deteksi gamma dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 13. Layout penempatan komponen *probe* sistem deteksi gamma

Sedangkan tata kelengkapan resistor *divider* pada *Socket Base* terlihat pada gambar berikut:



Gambar 13. Socket base & resistor divider



5. KESIMPULAN

Sistem deteksi densitas fluida di dalam pipa menggunakan teknik serapan radiasi gamma terdiri dari beberapa modul utama, yaitu: modul tegangan tinggi, modul pre-amp, modul pembentuk pulsa, modul *transmitter* 4-20mA serta modul kristal dan PMT. Modul tegangan tinggi digunakan untuk memberikan catu daya pada modul kristal dan PMT dengan ripple yang rendah dan dilengkapi dengan pengatur tegangan untuk menyesuaikan dengan PMT yang digunakan. Modul pre-amp digunakan untuk menguatkan sinyal dari PMT dengan dilengkapi fasilitas pengaturan *gain* dan *zero*. Modul pembentuk pulsa akan memperbaiki sinyal keluaran dari modul pre-amp sehingga diperoleh bentuk pulsa yang ideal untuk memperkecil kesalahan pengolahan sinyal dan disesuaikan level tegangannya menjadi standard TTL. Modul *transmitter* 4-20mA terdiri dari modul pencacah dan modul konverter tegangan ke arus 4-20mA. Mode arus 4-20mA dipilih untuk mengurangi gangguan sinyal pada saat transmisi data dan merupakan metode yang umum digunakan di industri.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Rony Djokorayono, Indarzah MP, Usep SG, Sistem Monitoring Material Clogging Pada Reaktor Low Linear Density Polyethylene Dengan Radiasi Gamma (Jurnal Perangkat Nuklir Vol.05 no.51 Mei 2011 ISSN : 1978 – 3515), Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Serpong (2011) 20-27.
2. Berthold, Berthold Radiation Measuring Instruments For Industry, Berthold Technologies GmbH & Co KG, D-7547 Bad Wilbad, (2008).
3. International Atomic Energy Agency, Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics, International Atomic Energy Agency,(1980)
4. Halit Eren, Density Measurement, CRC Press LLC, (2000).