

RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR RADIASI GAMMA DILENGKAPI TRANSMITTER SIGNAL 4-20mA PADA INSTALASI PENGOLAHAN BAHAN BAKAR NUKLIR

¹Ronny Djokorayono, ¹Wiranto Budi Santoso
²Mugiyono, ¹Usep Setia Gunawan, ³Benawi Santosa
1) Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
2) Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Gedung 20 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
3) PT Industri Telekomunikasi Bandung
Jl. Moch Toha No. 77 Bandung
ronydbatan@gmail.com

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM MONITOR RADIASI GAMMA DILENGKAPI TRANSMITTER SIGNAL 4-20 mA. Pengukuran sistem radiasi gamma yang dilengkapi transmisi signal 4-20 mA adalah suatu pilihan untuk diaplikasikan pada instalasi pengolahan bahan bakar nuklir. Sistem monitor gamma ini dapat dengan mudah diintegrasikan dengan elektronik data logger dan Komputer Proses didalam gedung yang dindingnya tebal tidak bisa ditembus oleh frekwensi radio. Sistem ini tersusun dari detektor Sintilasi modul pulse shaping modul lokal display bersatuan $\mu\text{Sv/h}$ dan modul transmitter 4-20 mA. Data hasil pembacaan sistem monitor radiasi gamma ini dikirim menggunakan standar sinyal berbentuk pulsa yang kemudian dikonversi menjadi standar sinyal berbentuk arus 4-20 mA oleh modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA. Sinyal ini kemudian dikirim melalui kabel sepanjang 700 meter ke ruang kendali utama. Hasil rancang bangun sistem monitor radiasi gamma dengan kelengkapan transmitter sinyal 4-20mA ini telah diuji dibandingkan dengan survey meter gamma tersertifikasi PTKMR dan menghasilkan nilai penyimpangan pengukuran rata rata sebesar +8,7 % serta koefisien linier antara bacaan surveymeter dengan sistem monitor radiasi gamma adalah $r = 0,986$.

Kata kunci : Monitor radiasi gamma, transmitter signal 4-20mA

ABSTRACT

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF GAMMA RADIATION MONITOR SYSTEM WITH 4-20 mA SIGNAL TRANSMITTER. Measurement of gamma radiation with signal transmission using standard 4-20 mA is an option for application in nuclear fuel processing plants. This on-line system can be easily integrated with electronic data loggers and Process Computers in buildings whose thick walls cannot be penetrated by radio frequencies. The system consists of a Scintillation detector, pulse shaping module, local display module in $\mu\text{Sv/h}$ units and a 4-20 mA transmitter module. The data from the readings of the gamma radiation monitoring system is sent using a standard pulse-shaped signal which is then converted into a standard signal in the form of a current of 4-20 mA by the electronic module transmitter signal 4-20 mA. This signal is then sent via a 700 meter cable to the main control room. The results of the design of the gamma radiation monitoring system with a complete 4-20mA signal transmitter have been tested compared with PTKMR certified gamma survey meters and produce an average measurement deviation value of +8.7% and the linear coefficient between the surveymeter readings and the gamma radiation monitoring system is $r = 0.986$.

Keywords: Gamma radiation monitoring, signal transmitter 4-20 mA.

1. PENDAHULUAN

Setiap pengoperasian instalasi pengolahan bahan bakar nuklir diwajibkan untuk melakukan pemantauan radiasi untuk keselamatan lingkungan sebagai salah satu

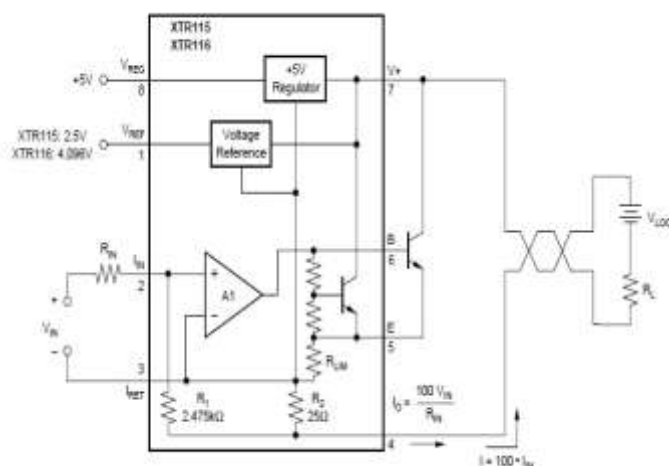
upaya untuk mendeteksi dan mengidentifikasi secara dini dan mengendalikan dampak radiologi pengoperasian instalasi pengolahan bahan bakar nuklir terhadap pekerja dan kualitas lingkungan hidup. Pemantauan lingkungan instalasi pengolahan dilakukan di dalam gedung yang kemungkinan dapat terkena paparan radiasi. Instalasi nuklir dan fasilitas pendukung seperti instalasi pengolahan bahan bakar nuklir mempunyai potensi untuk mengakibatkan kontaminasi/pencemaran terhadap lingkungan apabila tidak dikendalikan dengan baik.

Komunikasi pengiriman sinyal dari sensor gamma ke pengolah data di ruang kendali utama diharuskan menggunakan standar sinyal 4-20 mA, dikarenakan gedung instalasinya kedap terhadap frekwensi radio. Maka dipilih pengukuran radiasi gamma menggunakan standar signal 4-20 mA. Dalam makalah ini akan dijelaskan rancang bangun pembuatan sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi dengan modul transmitter sinyal 4-20 mA untuk keperluan monitor radiasi gamma pada instalasi pengolahan bahan bakar nuklir sehingga dapat ditampilkan hasil pengukuran baik di lokal maupun di Ruang kendali Utama..

2. DASAR TEORI

Terlepas dari fokus yang berkembang pada teknologi komunikasi digital saat ini, *output* analog 4-20 mA tetap menjadi salah satu jenis *output* analog yang paling dominan di industri saat ini. Jenis *output* analog lainnya yang populer adalah keluaran 0-10 VDC. Ada berbagai jenis loop 4-20 mA, di mana versi loop dua-kawat adalah yang paling banyak digunakan. Konsep dasar di balik loop arus dua kabel 4-20 mA adalah untuk memberi daya pada perangkat melalui dua kabel yang sama yang merupakan bagian dari rangkaian pengukuran analog^[4]. Ada banyak teknik transmisi sinyal yang dapat digunakan. Penggunaannya disesuaikan dengan optimasi teknis sistem perangkat secara menyeluruh. *American National Standards Institute (ANSI)* dan *Instrumentation Systems and Automation Society (ISA)* menetapkan standar transmisi sinyal 4-20 mA^[3].

Sistem monitor radiasi gamma untuk gedung instalasi pengolahan Bahan Bakar Nuklir menggunakan komponen XTR116 produksi *Burr-Brown* yang merupakan konverter presisi dari tegangan(dc) ke arus yang dirancang untuk mentransmisikan sinyal analog 4 mA sampai 20 mA melalui loop arus standar industri^[5].



Gambar 1. Rangkaian dasar sistem transmisi 4-20 mA^[5].

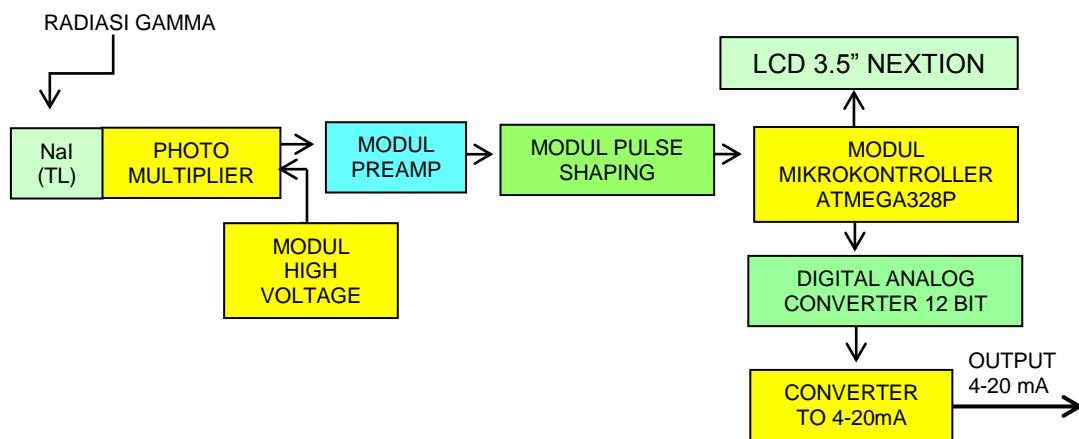
Gambar 1 menunjukkan hubungan rangkaian dasar dengan masukan tegangan dc dua kabel yang merupakan sinyal input (pin2, 3) dan mengendalikan arus keluaran pada pin 6. Komponen XTR116 ini memerlukan transistor npn yang diseri dengan

sumber tegangan dc Vloop (minimal +12 Volt_{dc} dan maksimal +40 Volt_{dc}) dan resistor beban RL. Resistor beban setelah dialiri arus akan menghasilkan tegangan dc yang digunakan sebagai data pengukuran perangkat berikutnya seperti perangkat *Distributed Control System* atau komputer data logger.

Beberapa kelebihan dari sistem transmisi sinyal 4-20 mA adalah sebagai berikut^[1]:

- Memerlukan daya yang rendah
- Jarak hantar maksimum 1 Km
- Sinyal yang dikirim tidak dipengaruhi oleh kualitas kabel transmisi
- Tidak sensitip terhadap *noise* listrik
- Jika sinyal 0 berarti terjadi kesalahan transmisi (mudah dalam pelacakan perbaikan)

Sistem monitor radiasi gamma untuk gedung instalasi pengolahan Bahan Bakar Nuklir menggunakan detektor NaI(Tl) yang dilengkapi modul transmisi signal 4-20mA dan lokal display LCD seperti ditunjukkan pada blok sistem pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok sistem monitor radiasi gamma

Sistem monitor radiasi gamma ini tersusun dari beberapa komponen utama diantaranya sensor gamma menggunakan kristal NaI(TL), yang dilengkapi photomultiplier, modul *high voltage*, modul *preamp*, modul *pulse shaping*, modul mikroprosesor Atmega-8P yang dilengkapi komponen digital analog konverter 12 bit dan komponen konverter 4-20mA. Serta dilengkapi modul display LCD 3,5" untuk menampilkan data hasil pengukuran, status *setting* dan status nilai transmitter arus 4-20mA. Radiasi gamma yang diterima kristal NaI(TL) akan mengakibatkan kristal memancarkan cahaya, intensitas cahayanya proporsional dengan intensitas radiasi yang diterima kristal, cahaya yang muncul dikuatkan dan dikonversi menjadi pulsa listrik oleh *photomultiplier* kemudian pulsa listrik dikuatkan oleh preamplifier serta dibentuk menjadi pulsa kotak yang tingginya sesuai standar 0-5V yang merupakan standar komponen TTL, selanjutnya pulsa ini di *counting* oleh modul mikrokontroler Atmega328P kemudian dilakukan proses perhitungan sehingga diatur agar output *swing*-nya berada antara nilai nol sampai dengan 4095 yang selanjutnya dikonversi ke standar arus 4-20 mA dan sekaligus tampil di LCD dengan rentang nilai intensitas radiasi antara 0 sampai 100,0 $\mu\text{Sv/h}$.

3. TATA KERJA

Sistem monitor radiasi gamma pada Gambar 2. tersusun dari tiga bagian utama yaitu subsistem deteksi, subsistem data akuisisi dan subsistem tampilan LCD yang dilengkapi transmitter signal 4-20 mA Subsistem deteksi menggunakan detektor

Nal(Tl) terdiri dari kristal Nal(Tl), Photomultiplier tube type R1306 Hamamatsu, preamplifier LM733, modul high voltage dan modul pulse shaping yang keluarannya menghasilkan pulsa kotak standar TTL (0-5Vdc). Subsistem data akuisisi menggunakan mikrokontroler Atmega 328P dengan kelengkapan tampilan LCD Nextion 3,5". Modul display LCD *Nextion* adalah LCD HMI (Human Machine Interface) ini menyediakan antarmuka pengendalian dan visualisasi antara manusia dengan proses, mesin dan aplikasi. Perangkat keras LCD *Nextion* tersusun dari serangkaian *Thin Film Transistor* (TFT) yang hanya berupa layar LCD saja atau berupa layar sentuh dengan teknologi *Resistive Touchscreen*. LCD *Nextion* ini juga menyediakan perangkat lunak *Nextion Editor*, dengan menggunakan *Nextion Editor*, pembuatan / perancangan GUI (*Graphical User Interface*) menjadi sangatlah mudah sehingga dapat mengurangi beban pekerjaan. Untuk berkomunikasi dengan piranti lain LCD *Nextion* menggunakan komunikasi UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*). Dua *pin* serial (Rx dan Tx) dan dua *pin* lagi untuk *power supply*. Pada perangkat ini, LCD *Nextion* (*user interface*) ini digunakan sebagai indikator atau monitoring perangkat yang akan dibuat. Untuk memprogram LCD *Nextion* HMI menggunakan bantuan *software Nextion Editor* berbasis GUI WYSIWYG (*What You See Is What You Get*) dengan *platform* Microsoft Windows yang dapat di *download* gratis pada situs resmi produsen nya (ITEAD), adapun beberapa tipe LCD *Nextion* yang dapat digunakan, ada dua jenis LCD *Nextion*, yaitu *basic models* dan *enhanced models*.

Rancang bangun sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter 4-20 mA dan menggunakan LCD *Nextion* dengan *display* 3,5 inch *Enhanced Models*, modul *touch screen* ini bisa menampilkan banyak data dan *interface* yang menarik, untuk membuat *interface* pada LCD *Nextion*, cukup dengan membuat desain pada *software Nextion Editor*, *copy* ke LCD via SD *Card* atau melalui serial TTL dan UI kemudian, LCD *Nextion* akan menampilkan *interface* yang diinginkan, keunggulan *Enhanced Models* sudah memiliki memori eeprom internal, memori ini digunakan untuk menyimpan sejumlah konfigurasi data pada perangkat elektronik serta tetap harus terjaga meskipun sumber daya diputuskan, memori pada LCD 3,5 inch sudah sebesar 32MB, sehingga cukup banyak ruang untuk menyimpan beberapa program dan GUI yang dikerjakan.

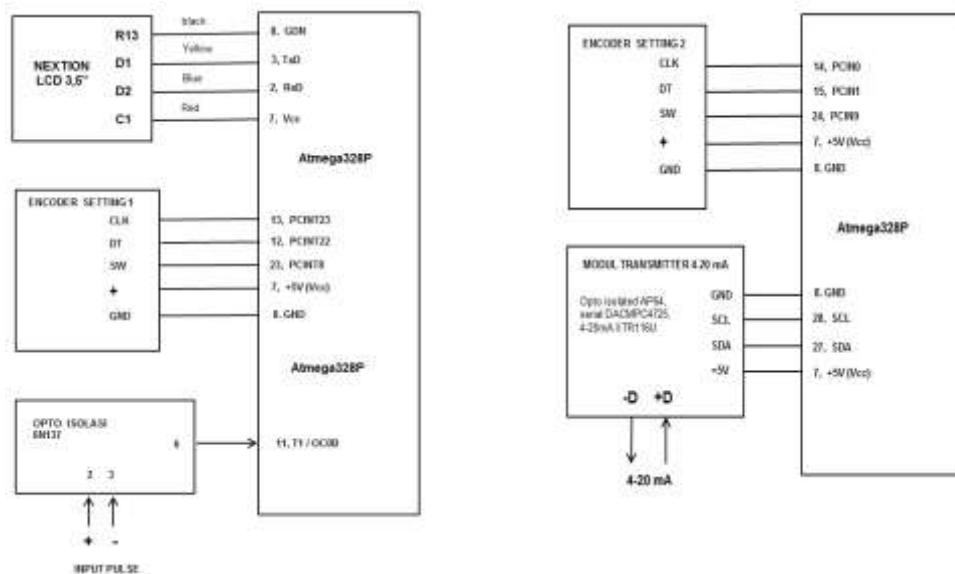
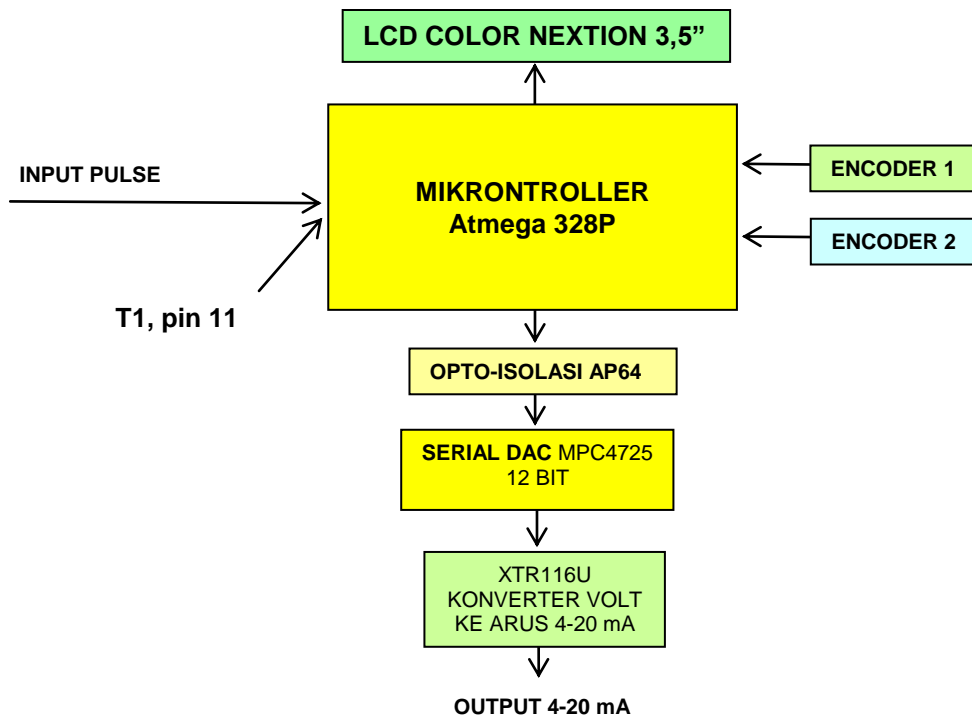
A = pengali untuk persamaan $Y = (A \times C) - B$ dimana Y = output DAC 12 bit

g = Waktu buka gate dalam milisecond (1000 = CPS)



Gambar 3. Tampilan dan Setting, monitor radiasi gamma.

Hubungan antar komponen pada modul mikrokontroller dapat dijelaskan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Hubungan antar komponen pada modul mikrokontroller

Nilai pewaktu g, pengali A dan M, penambah B dan N, skala s, rata rata d, alarm low AL dan alarm high AH pada Gambar 3, diatur dengan menekan serta memutar tombol *encoder setting 1* dan *encoder setting 2*. *Setting* pewaktu kelipatan 1 milidetik, *setting* pengali menyesuaikan dengan nilai skala s dengan skala terkecil 0,001, sedangkan *setting* penambah nilainya integer plus dan integer minus, setting nilai rata rata integer plus, *setting* alarm low dan alarm high bernilai floating point dua angka dibelakang koma.

Hubungan antara komponen LCD *Nextion* dengan mikrokontroler Atmega 328P menggunakan serial komunikasi Rx dan Tx. Mikrokontroler Atmega328P sebelum melakukan pencacahan (*counting*), akan membaca masukan nilai g, yang merupakan informasi nilai waktu yang harus digunakan untuk mencacah, yaitu tergantung dari kelipatan 1 mikro detik dikali minimal 1 atau maksimum 10000. Hasil pencacahan dikeluarkan ke tampilan LCD pada page *Setting page* (nilai C) setelah dikurangi dengan pencacah background atau suatu nilai pencacah minimal (zero) yang dimasukan saat setting dengan nilai B, kemudian hasilnya dikeluarkan ke tampilan LCD pada page status nilai C.

Untuk masuk ke wilayah 4 mA sampai 20 mA, hasil nilai tampilan C (nilai C) harus dikalikan bilangan A (*floating point*), menjadi nilai Y (*integer*) maksimum harus 4095 yang identik dengan nilai 20mA, Selanjutnya processor akan mengeluarkan nilai Y secara serial ke komponen DAC (digital analog konverter) MPC-4725, tetapi sebelumnya dilewatkan dulu ke komponen AP64 *Opto Isolated* (isolasi logic). Secara bersamaan hasilnya juga ditampilkan pada setting maupun page tampil pada tampilan LCD *Nextion* dengan rentang nilai 0 sampai 4095 atau 819 sampai 4095 yang setara dengan 0 Volt sampai 10 Volt atau 2 Volt sampai 10 Volt keluaran DAC. Setelah sinyal hasil pengukuran berbentuk tegangan (Volt), kemudian dimasukan ke komponen XTR116U untuk dikonversi menjadi rentang arus antara 0 mA sampai 20 mA atau 4 mA sampai 20 mA, sehingga siap ditransmisikan melalui kabel sejauh 700 meter ke *computer proces* di ruang kendali utama (*control room*).

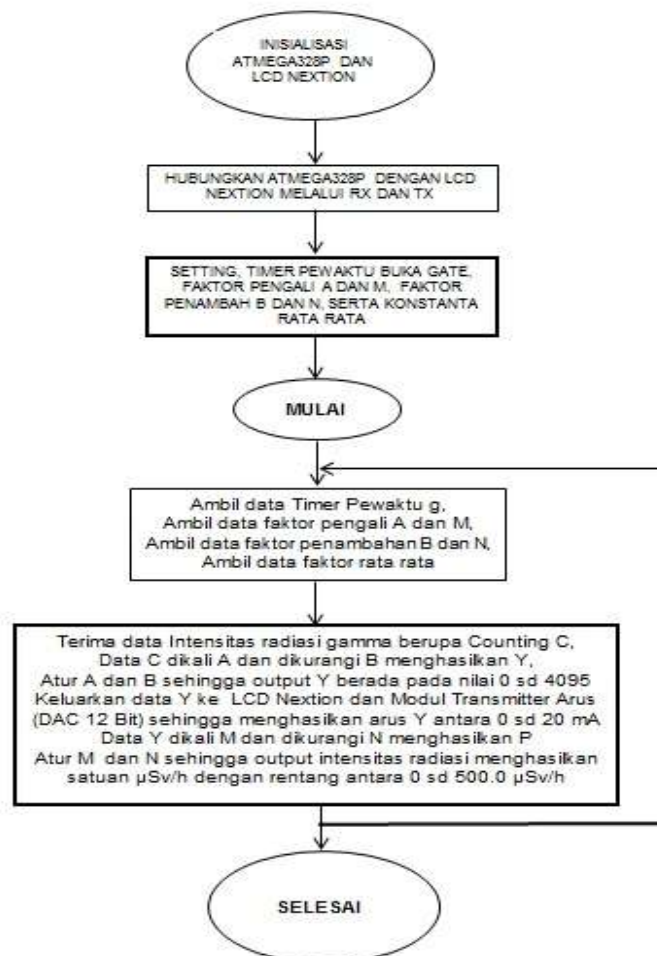
Bersamaan dengan keluarnya arus mA, processor akan mengeluarkan nilai dengan satuan $\mu\text{Sv/h}$ pada page setting maupun page tampil di LCD *Nextion* setelah nilai Y dikalikan dengan konstanta M dan ditambah dengan konstanta N, dimana kalkulasinya adalah $R = P * M + N$ atau $R = Y * M + N$, dan R merupakan intensitas radiasi yang diterima detektor dengan satuan $\mu\text{Sv/h}$.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *toolset* elektronik, *Digital Multimeter PC510 Sanwa*, survey meter gamma PERANUK yang terkalibrasi di sertifikasi PTKMR no. 4546/KM 04 02/KMR 5.1/10/2020. Peralatan penunjang pembuatan program berupa *software* perangkat lunak *arduino atmega328P*, untuk pembuatan program mikrokontroler dan aplikasi tampilan dibuat dengan *IDE Arduino dan Sketch Arduino ISP* berbahasa C. Bahan pendukung yang digunakan dalam pembuatan modul elektronik *transmitter* sinyal 4-20 mA adalah modul Arduino atmega 328P, modul catu daya tegangan rendah 5 dan 12 volt, Capacitor dan Resistor digunakan untuk melakukan konversi arus 4 – 20 mA menjadi tegangan 2 – 10 V.

Langkah kerja yang dilakukan dalam rancang bangun sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi modul elektronik transmitter 4-20 mA ini adalah dengan melakukan studi literatur terutama cara kerja dari sistem instrumentasi nuklir yang digunakan di gedung instalasi bahan bakar nuklir ptbbn batan puspptek Serpong. Melakukan rancangan sistem keseluruhan. *Prototyping*, yaitu melakukan penyusunan perangkat keras, dengan tampilan LCD yang dapat terlihat oleh pengguna pada jarak 3 meter, pengukurannya bisa tertelusur dari mulai counting awal hingga proses kakulasi sampai keluar dalam bentuk sinyal 4-20 mA, tanpa harus mereset sistem operasi microcontrollernya. Memilih komponen komponen yang tersedia dipasar on line dan ketersediaannya mencukupi bila diproduksi untuk beberapa modul, maka dipilih komponen mikroprocessor jenis mikrokontroler atmega 328P, beberapa *encoder* pengatur *setting* seperti untuk pengaturan *timer* buka *gate counting*, pengatur bilangan pengali dan bilangan pengurang. Agar susunan *printed circuit board* menjadi ringkas maka dipilih nya komunikasi antar komponen menggunakan komunikasi serial dan sebagian besar menggunakan komponen SMD (*surface mount devices*) seperti serial dac MCP4725, AP64 *Opto Isolated*, XTR116U, LCD *Nextion*, sedangkan komponen mikroprocessornya masih menggunakan jenis DIL, dan diberi socket karena sering dimodifikasi programnya serta ditukar ke modul lain yang sejenis.

Penyusunan perangkat keras dengan menyambung antar komponen. Hubungan antara encoder 2 dan switch disambung ke mikrokontroller atmega328P yang bersinergi dengan clock ke PCIN0 *pin* 14 dan DT ke PCIN1 *pin* 15 serta SW ke PCIN9 *pin* 24. Sedangkan hubungan antara encoder 1 dan switch disambung ke mikrokontroller atmega328P yang bersinergi dengan clock ke PCIN23 *pin* 13 dan DT ke PCIN22 *pin* 12 serta SW ke PCIN8 *pin* 23. Hubungan antara komponen digital analog converter MCP4725 pada modul Transmitter 4-20mA dengan mikrokontroller atmega328P melalui komunikasi I₂C yaitu *pin* SDA (*serial interface data*) dan SCL (*serial interface clock*), Sedangkan hubungan mikrokontroller atmega328P dengan HMI LCD Nextion melalui komunikasi serial Tx/Rx ke Tx/Rx nya Atmega328P.

Pembuatan *software* pada rancang bangun sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi modul elektronik transmitter 4-20 mA diantaranya menyiapkan pemrograman *frequency counter*, menggunakan Counter 1/T1 *pin* 11 Atmega328P untuk mencacah pulsa masukan dan waktu buka *gate* nya ditentukan oleh Timer0. Perangkat lunak yang digunakan untuk pemrogram atmega328P adalah IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino dan *loading Sketch Arduino ISP* berbahasa C. Untuk pemrograman LCD Nextion yang dihubungkan dengan PC dan Arduino, Instal SD Card, copy file library *.tft dan format SD Card dengan standar FAT32 serta masukan SD Card ke modul HMI LCD Nextion, sehingga akan menginstal *firmware* modul LCD Nextion, hasil instal akan memunculkan *image* pada HMI (*Human Man machine Interface*) TFT LCD Nextion.



Gambar 5. Flowchart software Sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter sinyal 4-20 mA

Pada Gambar 5, ditunjukkan langkah akuisi pembacaan data intensitas radiasi gamma dari sistem deteksi untuk selanjutnya dikirim ke tampilan LCD *Nextion* dan *transmitter* sinyal 4-20 mA. Program aplikasi yang dibuat menampilkan parameter yang diukur dalam bentuk digital 0 sampai 4095 untuk arus keluaran antara 0 mA sampai dengan 20 mA, serta menampilkan intensitas radiasi gamma dengan satuan $\mu\text{Sv/h}$. Untuk dapat menampilkan dalam bentuk besaran yang sebenarnya, maka harus dilakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan terhadap obyek ukur standar atau dengan membandingkan dengan sistem alat lain. Nilai persamaan kalibrasi dapat langsung di setting pada masukan page setting pada tampilan LCD *Nextion* yang tersedia. Proses yang terakhir adalah melakukan pengujian, yaitu membandingkan hasil bacaan dengan nilai yang sebenarnya. Cara ini dilakukan dibandingkan dengan pengukuran intensitas radiasi gamma atau survey meter gamma yang menerima berbagai intensitas radiasi gamma dari sumber radiasi gamma jenis Cs137 100 mCi dengan mengatur jarak. Dimana survey meter gamma yang digunakan telah tersertifikasi oleh ptkmr batan.

Urutan proses konfigurasi Arduino Uno dengan LCD *Nextion* dapat dilihat pada Tabel 1. berikut berikut.

Tabel 1. Urutan proses konfigurasi Arduino Uno dengan LCD *Nextion*

Urutan	Kegiatan
1.	Hubungkan <i>Nextion</i> LCD yang tersusun dari ARM Mikrokontroler untuk pengaturan display LCD, dengan mikrokontroler Arduino Uno melalui komunikasi Serial G, Tx, Rx, +5V, dengan set baudrate 9600.
2.	Download <i>Nextion</i> Libraries, dapatkan <i>ITEADLIB_Arduino_Nextion</i> dan buka kembali Arduino IDE
3.	Konfigurasi Library untuk Arduino Uno, buka folder <i>ITEADLIB_Arduino_Nextion</i> , buka file <i>NexConfig.h</i> ,
4.	Komentar baris ke 27 tetap sebagai berikut <code>//#define DEBUG_SERIAL_ENABLE</code> , dan komentar baris ke 32 <code>//#define dbSerial Serial</code>
5.	Ganti baris ke 37 menjadi <code>#define nexSerial Serial</code>
6.	Save file <i>NexConfig.h</i>
7.	Final Konfigurasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

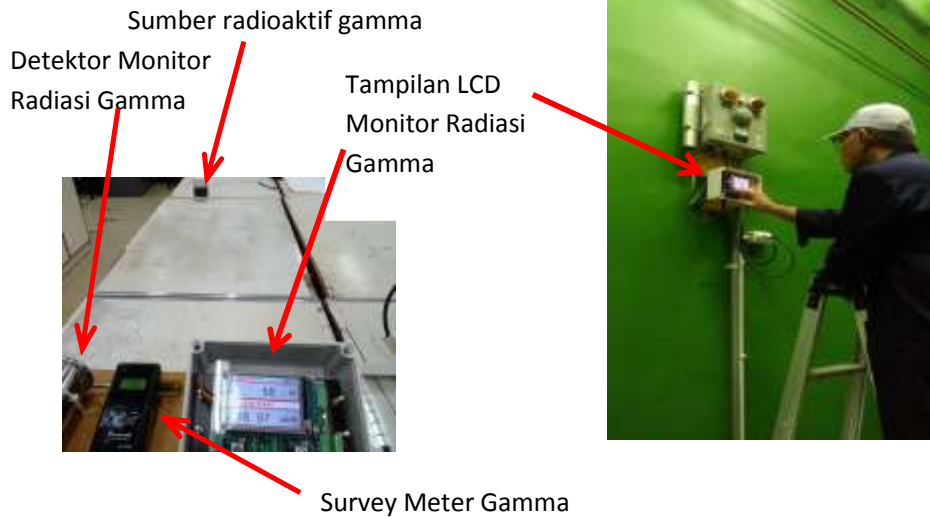
Data hasil pengujian ditampilkan seperti pada Tabel 2, data diambil dengan membandingkan hasil pengukuran Sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter sinyal 4-20 mA dengan kalibrator survey meter gamma yang tersertifikasi. Selanjutnya dilakukan perhitungan. Perhitungan kesalahan pembacaan adalah dengan menggunakan persamaan:

$$KR = \frac{PS-PP}{PP} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan *KR* merupakan kesalahan relatif, *PS* adalah hasil pembacaan sistem monitor radiasi gamma, dan *PP* merupakan hasil pembacaan pada kalibrator. Tabel 2 berikht didapat persamaan linier $Y = 0,011X + 5,0$ dengan koefisien linier $r = 0,986$ dimana *Y* adalah bacaan kalibrator $\mu\text{Sv/h}$ dan *Y* cps adalah bacaan output cps dari sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter sinyal 4-20 mA.

Tabel. 2. Data hasil pengukuran.

No	Kalibrator Survey Meter Gamma Tersertifikasi Satuan $\mu\text{Sv/h}$	Counting CPS Sistem monitor radiasi gamma	Output Digital transmitter Sistem monitor radiasi gamma	Output Arus mA Sistem monitor radiasi gamma
1.	5,313	96	22	0,11
2.	6,760	133	32	0,15
3.	8,730	185	44	0,25
4.	11,106	291	70	0,34
5.	14,559	391	94	0,46
6.	17,940	565	135	0,66
7.	31,116	1383	331	1,67
8.	50,922	2633	629	3,07
9.	81,144	5138	1227	5,99
10.	132,239	11310	2702	13,20
11.	200.017	18136	4095	20.0



Gambar 8. Pengujian sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter sinyal 4-20 mA

Tabel. 3. Data kesalahan relatif hasil pengukuran dibandingkan kalibrator

No	Kalibrator Survey Meter Gamma Tersertifikasi Satuan $\mu\text{Sv/h}$	Sistem monitor radiasi gamma Satuan $\mu\text{Sv/h}$	Presentasi Kesalahan Relatif (%)
1.	5,980	6,91	15,5
2.	6,678	7,45	11.5
3.	9,720	10,23	5,2
4.	11,906	12,89	8,2
5.	14,859	16,43	10,5
6.	18,940	20,46	8,02
7.	32,716	34,69	6,03
8.	54,312	58,54	7,7
9.	86,124	90,35	4,9
10.	136,839	150,72	10,1

Kesalahan relatif hasil pengukuran terjadi hampir merata sekitar +8,7% disetiap pengukuran sehingga perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan setting pada sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter sinyal 4-20 mA.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat disimpulkan rancang bangun sistem monitor radiasi gamma yang dilengkapi transmitter sinyal 4-20 mA berhasil memperagakan intensitas radiasi gamma dengan satuan $\mu\text{Sv/h}$ dan mentransmisikan data pengukuran melalui standar sinyal 4-20 mA yang merupakan standar sinyal di Instalasi Bahan Bakar Nuklir. Penyimpangan pengukuran saat dilakukan pengujian sebesar +8,7 % dan koefisien linier antara kalibrator survey meter gamma dan keluaran perangkat radiasi gamma adalah 0,986.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonymous, "4-20 mA Current Loop Sensor Board", Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. , Document version: v7.2 – Juni, 2017.
<https://www.libelium.com/development/waspote/documentation/4-20,a-current-loop-guide/>.
- [2] Rony Djokorayono, "Rancang bangun modul elektronik transmitter sinyal 4-20 mA untuk perangkat Analisa unsur dengan teknik XRF di Industri ", Majalah Prima Volume 16, no.1, Juni 2019.
- [3] Anonymous, "4-20 mA Transmitters", Application Note, 3331 E, Hemisphere Loop, Tucson AZ 85706. <https://www.dataforth.com/4-20mA-transmitter.aspx>.
- [4] Anonymous, "4-20 mA CURRENT LOOPS", <https://sens4.com/4-20ma-current-loop.html>
- [5] Burr-Brown, "4-20mA CURRENT LOOP TRANSMITTERS", <https://www.mikrocontroller.net/attachment/6052/xtr115.pdf>.