

DESAIN DASAR PORTAL MONITOR RADIASI UNTUK KENDARAAN

Agus Cahyono, Joko Triyanto, Demon Handoyo
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) – BATAN
Email: Agusca@batan.go.id; triyanto@batan.go.id; dehandoyo@yahoo.com

ABSTRAK

DESAIN DASAR PORTAL MONITOR RADIASI UNTUK KENDARAAN. Kemungkinan penyalahgunaan bahan bakar nuklir dan bahan radioaktif harus ditekan serendah mungkin. Untuk keperluan hal ini, suatu portal monitor radiasi (PMR) kendaraan dapat digunakan dan dipasang di titik-titik pemeriksaan (check points) di fasilitas-fasilitas nuklir, industri, pelabuhan udara dan pelabuhan laut. PMR ini menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) untuk mendeteksi sinar gamma dan detektor berbasis $^{10}\text{B}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ untuk mendeteksi neutron. Persyaratan desain telah ditetapkan. Persyaratan desain ini meliputi 20 aspek, antara lain konfigurasi fisik, identifikasi spektrum, user interface, deteksi radiasi, dan lain-lain. Desain konseptual dan desain awal peralatan PMR ini diuraikan dalam makalah ini. Makalah ini juga memberikan spesifikasi teknis detektor sintilasi, detektor neutron, multi-channel analyzer (MCA), catu daya tegangan tinggi, akuisisi data, sensor kecepatan, sensor occupancy, dan komputer sentral. Pembuatan desain rinci sebagai tahap berikutnya dari perancangan peralatan PMR ini perlu dilakukan.

Kata kunci: Desain dasar, portal monitor radiasi, detektor sinar gamma, detektor neutron

ABSTRACT

BASIC DESIGN OF A RADIATION PORTAL MONITOR FOR VEHICLES. Possibility of unauthorized uses of nuclear and radioactive material should be minimized as low as possible. For this objective, a radiation portal monitor (RPM) for vehicles can be employed and installed at check points of nuclear and industrial facilities, airport, and harbors. This RPM utilizes scintillation detector NaI(Tl) to detect gamma rays and $^{10}\text{B}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ based detector to detect neutron. A set of design requirement for this equipment has been defined. It includes 20 aspects, for example physical configuration, spectrum identification, user interface, radiation detection, et cetera. Conceptual design and basic design are described in this paper. This paper also outlines technical specification of scintillation detector, neutron detector, multi-channel analyzer (MCA), high voltage power supply, data acquisition, speedometer sensor, occupancy sensor, and central computer. Detailed design as the next phase of RPM engineering should be carried out later.

Keywords: Basic design, radiation portal monitor, gamma ray detector, neutron detector

1. PENDAHULUAN

Pergerakan semua bahan radioaktif baik di dalam suatu negara maupun antar negara dikenai standar peraturan, administrasi, dan keselamatan yang tinggi untuk menjamin bahwa pergerakan tersebut dilaksanakan secara aman dan selamat. Untuk bahan nuklir, proteksi fisik dan *safeguards* juga harus diterapkan untuk menghindari ancaman proliferasi nuklir dan upaya penyalahgunaannya. Semakin luasnya pemakaian sumber radioaktif di banyak fasilitas industri dan kesehatan di Indonesia membuat penanganan aspek keselamatan dan pengamanan sumber radioaktif semakin penting.

Deteksi bahan radioaktif (bahan nuklir dan sumber radioaktif) di pelabuhan laut dan udara merupakan komponen mendasar dari suatu strategi yang menyeluruh untuk memastikan bahwa material tersebut tidak jatuh ke pihak yang tidak berwenang. Deteksi bahan radioaktif ini juga harus dikenakan pada fasilitas industri dan fasilitas nuklir yang menggunakan bahan nuklir/sumber radioaktif untuk mencegah terjadinya penyelewengan material tersebut.

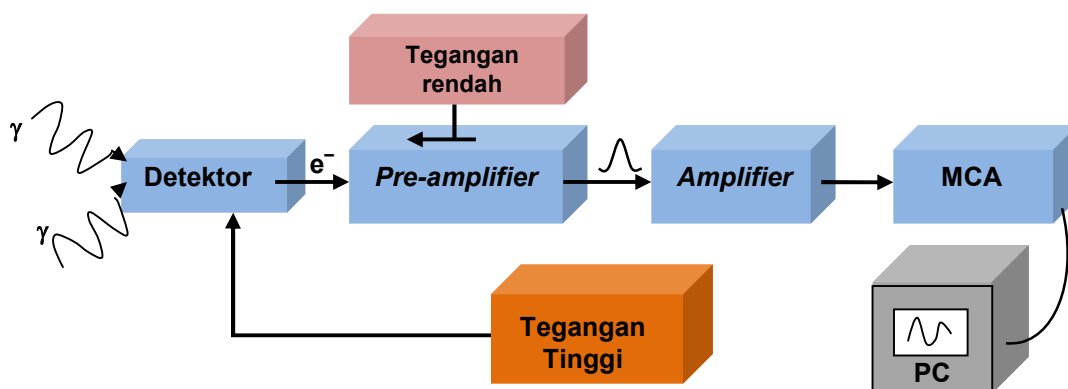
Satu metode deteksi yang sesuai untuk kepentingan deteksi bahan nuklir dan sumber radioaktif di pelabuhan laut dan udara serta di fasilitas-fasilitas industri dan nuklir adalah portal monitor radiasi (PMR). Alat ini dipasang secara tetap pada titik-titik pemeriksaan di pelabuhan dan bandar udara dan pintu keluar fasilitas industri, kesehatan, dan nuklir untuk mendeteksi kemungkinan penyimpangan penggunaan dan perdagangan gelap (*illicit trafficking*) bahan terkait.

Mengingat pentingnya portal monitor radiasi untuk mendeteksi bahan nuklir dan sumber radioaktif di titik-titik pemeriksaan (*check points*) di Indonesia, perbekayaan peralatan ini menjadi penting untuk dilakukan. Makalah ini menguraikan perancangan awal Portal Monitor Radiasi (PMR) untuk kendaraan.

2. TEORI

2.1. Sistem Spektrometri Sinar Gamma

Spektrometri sinar gamma merupakan suatu metode analitik yang memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi isotop-isotop pemancar sinar gamma dalam berbagai matriks. Instrumentasi dasar sistem spektrometri sinar gamma terdiri atas detektor gamma, pre-amplifier, amplifier, catu daya tegangan tinggi, catu daya tegangan rendah, *multi-channel analyzer* (MCA), dan sebuah komputer. Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem spektrometri sinar gamma.



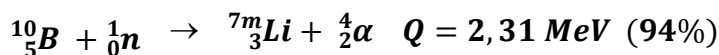
Gambar 1. Blok Diagram Sistem Spektrometri Sinar Gamma^[1]

Sinyal elektrik yang dihasilkan dalam detektor setelah interaksi foton dengan detektor dikumpulkan oleh *preamplifier* yang terhubung ke catu daya tegangan rendah. Selain itu, *preamplifier* ini juga berfungsi memberikan penyesuaian antara impedansi tinggi detektor dan impedansi rendah kabel koaksial ke *amplifier*, yang mungkin terletak jauh dari *preamplifier*. Detektor memperoleh daya dari catu daya tegangan tinggi. Sinyal luaran dari *preamplifier* selanjutnya diperkuat dan dibentuk oleh sebuah *amplifier*. Peralatan penting lainnya dalam sistem spektrometri gamma adalah *multichannel analyzer* (MCA), yang terdiri atas *analog-to-digital converter* (ADC), logika kendali (*control logic*), memori, dan tampilan (*display*). MCA ini mengumpulkan pulsa atau sinyal dalam semua kisaran tegangan dan menampilkan informasi ini dalam waktu nyata (*real time*). Sebuah komputer digunakan untuk melakukan visualisasi dan analisis spektrum^[1,2].

2.2. Sistem Deteksi Neutron

Neutron merupakan suatu partikel yang mempunyai massa, tetapi tidak memiliki muatan listrik. Neutron tidak dapat langsung menghasilkan ionisasi dalam suatu detektor, sehingga neutron tidak dapat dideteksi secara langsung. Dengan demikian, detektor neutron harus berdasarkan pada suatu proses konversi di mana sebuah neutron berinteraksi dengan sebuah inti atom untuk menghasilkan suatu partikel sekunder yang bermuatan. Partikel bermuatan ini lalu dapat langsung dideteksi dan keberadaan neutron dapat dideteksi.

Salah satu jenis detektor yang berdasarkan pada reaksi neutron tersebut adalah detektor B/ZnS(Ag). Detektor ini mendeteksi neutron termal melalui interaksi tak-elastik ($^{10}\text{B}, n$)^[3]:



Dalam campuran suatu senyawa Boron dan sintilator Zn-S, atom-atom ^{10}B berada pada posisi yang dekat dengan ZnS(Ag) sehingga ion-ion yang energetik hasil dari interaksi tak-elastik ini akan mendepositkan sebagian besar energi kinetiknya pada sintilator ZnS(Ag).

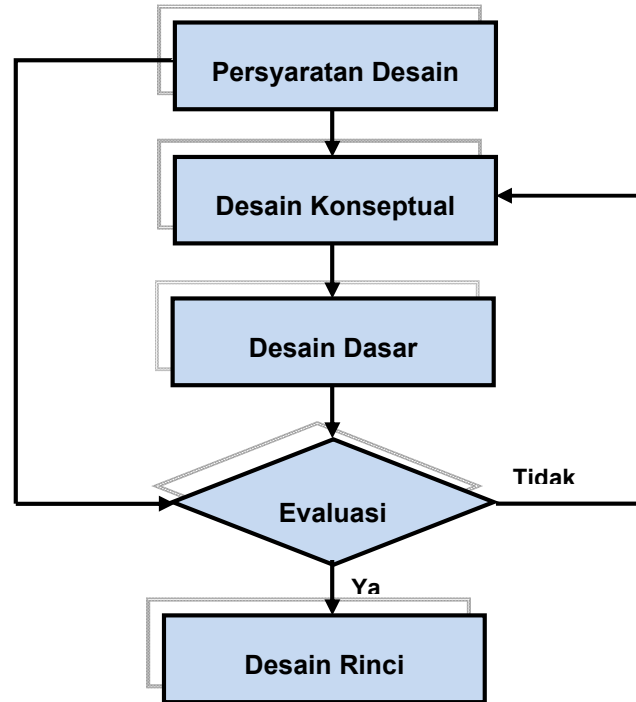
Suatu lapisan tipis campuran Boron+ZnS terdeposit di sekitar batang PMMA (*Polymethyl Methacrylate*)/lusit yang memiliki dua fungsi. Pertama, ia bertindak sebagai pemandu cahaya untuk membawa sinar sintilasi ke PMT (*Photomultiplier Tube*) dan, kedua, ia bertindak sebagai moderator internal. Keberadaan moderator internal ini meningkatkan sensitivitas terhadap neutron cepat.

Sistem deteksi neutron serupa dengan sistem spektrometri gamma, yaitu terdiri atas detektor, *preamplifier*, *amplifier*, MCA, dan komputer, serta dilengkapi dengan catu daya tegangan tinggi untuk detektor neutron dan catu daya tegangan rendah untuk *preamplifier*.

3. METODOLOGI

Metode desain untuk rancangan dasar PMR ini diawali dengan penentuan persyaratan desain. Persyaratan desain ini selanjutnya digunakan untuk pembuatan desain konseptual dan dilanjutkan dengan desain dasar dari komponen-komponen yang digunakan dalam PMR ini. Komponen-komponen sistem deteksi PMR mencakup detektor gamma dan neutron, catu daya tegangan tinggi (*high voltage power supply*), penguat awal (*pre-amplifier*), penguat (*amplifier*), pengubah sinyal (*Analog to Digital Converter/ADC*), dan penganalisis sinyal (*multi-channel analyzer/MCA*). Selanjutnya, MCA dihubungkan ke sebuah komputer untuk memvisualisasikan spektrum dan melakukan analisis spektrum.

Tahap berikutnya adalah evaluasi terhadap desain dasar dengan menggunakan persyaratan desain sebagai basis acuan. Jika desain dasar memenuhi kriteria pada persyaratan desain, maka kegiatan perancangan dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan desain rinci. Sebaliknya, jika desain dasar belum memenuhi kriteria pada persyaratan desain, perbaikan terhadap desain awal harus dilakukan. Proses metode perancangan PMR ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Metode Pembuatan Rancangan Dasar PMR

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Persyaratan Desain

Pergerakan bahan nuklir dan sumber radioaktif yang melalui pelabuhan laut dan udara serta fasilitas-fasilitas industri dan nuklir dapat dideteksi dengan menggunakan portal monitor radiasi (PMR). Alat ini dipasang pada titik-titik pemeriksaan atau pintu keluar fasilitas-fasilitas tersebut dalam rangka untuk mencegah penyimpangan dan penyalahgunaan bahan nuklir dan radioaktif.

Sejumlah persyaratan desain telah dibuat untuk PMR ini. Rincian persyaratan desain perkerayaan PMR ini ditunjukkan pada Tabel 1 [4, 5]. Persyaratan desain ini meliputi 20 aspek, antara lain aspek umum, konfigurasi fisik, identifikasi spektrum, fitur indikasi, catu daya, proteksi *switch*, perangkat lunak dan analisis data, *user interface*, indikator peringatan, deteksi radiasi, alarm palsu, respon terhadap radiasi gamma dan neutron, identifikasi radionuklida simultan, temperatur lingkungan, kelembaban relatif, proteksi uap dan debu, *electrostatic discharge*, kerentanan *radio frequency*, medan magnet, dan vibrasi.

PMR untuk kendaraan yang akan dibangun mengedepankan prinsip kehandalan operasi dan memiliki *man-machine interface* yang ramah (*user friendly*) dengan pembiayaan yang serendah mungkin.

Tabel 1. Persyaratan Desain Portal Monitor Radiasi (PMR) untuk Kendaraan

No.	Aspek	Persyaratan
1	Umum	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus mampu mendeteksi perubahan laju paparan dan mengidentifikasi bahan radioaktif/bahan nuklir di dalam kendaraan yang melalui zona deteksi. PMR harus mampu beroperasi secara mandiri dari piranti peripheral dan harus tidak terpengaruh oleh segala kerusakan piranti peripheral. PMR harus mampu beroperasi sampai 3 jam jika terjadi kehilangan daya eksternal dan memiliki kemampuan transfer data ke komputer pusat.

		<ul style="list-style-type: none"> PMR kendaraan harus mampu memberikan suatu zona deteksi yang menjamin bahwa semua kendaraan yang melalui PMR terpantau. Kisaran zona deteksi adalah 0,2 meter sampai 4,5 meter di atas permukaan.
2	Konfigurasi fisik	<ul style="list-style-type: none"> Wadah penutup untuk rangkaian di luar gedung (<i>outdoor</i>) harus memenuhi Klasifikasi IP54 seperti yang dinyatakan dalam IEC 60529. Teknik pemasangan PMR harus dirancang untuk mencegah vibrasi/goncangan normal mengganggu operasi sistem deteksi.
3	Identifikasi Spektrum	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus mampu menyimpan data paling tidak 1000 set data pengukuran. PMR harus mampu menyimpan spektrum dan cacah latar dan meneruskannya ke komputer pusat. PMR harus mampu menyimpan data riwayat cacah sinar gamma dan neutron. PMR harus mampu melakukan identifikasi pengukuran dengan obyek diam dalam zona deteksi.
4	Fitur Indikasi	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus memberikan indikasi status operasional dan kondisi alarm, dan harus mampu meneruskan sinyal tersebut ke komputer pusat. PMR harus mampu mendukung sensor pengukuran dan mampu mengukur kecepatan kendaraan.
5	Catu Daya	<ul style="list-style-type: none"> Peralatan ini harus dirancang untuk beroperasi pada <i>Alternating Current (AC)</i> tegangan 180 – 240 V dan 47 – 63 Hz AC PMR ini harus mampu beroperasi, termasuk penyimpanan data pengukuran minimum 3 jam, jika terjadi kehilangan catu daya eksternal.
6	Proteksi <i>switch</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>Switch</i> dan kontrol lainnya harus dirancang untuk memastikan bahwa PMR beroperasi secara layak dengan meminimalkan kerusakan operasi <i>switch</i>.
7	Perangkat Lunak dan Analisis Data	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus mampu mentransfer data ke piranti eksternal, seperti komputer. Transfer ini harus didasarkan pada teknologi yang umumnya tersedia seperti Ethernet, USB, RSI-232, nirkabel (misal 802.11), atau RS-485.
8	<i>User Interface</i>	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus memberikan indikasi visual yang berdasarkan pada warna.
9	Indikator peringatan	<ul style="list-style-type: none"> Indikasi berikut harus diberikan pada <i>user interface</i>, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> Laju cacah tinggi – rendah Sensor pengukuran gagal, jika sensor pengukuran digunakan Perubahan status operasional Kehilangan daya Status baterai
10	Deteksi radiasi	<ul style="list-style-type: none"> Dengan cacah latar 0,2 $\mu\text{Sv/jam}$ dengan kenaikan 0,1 $\mu\text{Sv/jam}$ setiap detik, PMR harus mampu memberikan akurasi deteksi paling tidak 90%. PMR harus mampu mendeteksi tingkat radiasi yang lebih tinggi dari 0,1 mSv/jam pada jarak 1 meter dari permukaan atau obyek. PMR harus mampu mendeteksi minimum radionuklida berikut: ^{241}Am, ^{133}Ba, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{137}Cs, <i>Depleted Uranium</i>, ^{67}Ga, HEU (<i>High Enriched Uranium</i>), ^{131}I, ^{192}Ir, ^{237}Np, ^{99}Tc, ^{201}Tl, ^{226}Ra, dan ^{232}Th.
11	Alarm palsu (<i>Fault Alarm</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Ketika diuji di daerah dengan latar yang stabil (hanya fluktuasi alami), alarm palsu harus kurang dari 1 per 1000 pengukuran.
12	Respon terhadap radiasi gamma dan neutron	<ul style="list-style-type: none"> Dengan Alarm PMR harus berbunyi ketika laju paparan sinar gamma terukur saat suatu obyek melalui zona deteksi dengan kecepatan 8 km/jam lebih besar dari setelan alarm. Alarm PMR harus berbunyi ketika laju paparan neutron terukur saat suatu obyek melalui zona deteksi dengan kecepatan 8 km/jam lebih besar dari setelan alarm. PMR harus memberikan alarm minimum 49 kali dari 50 pengukuran.
13	Identifikasi radionuklida simultan	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus mampu mengidentifikasi lebih dari satu radionuklida secara simultan.
14	Temperatur lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus mampu beroperasi dalam kisaran temperatur lingkungan dari 20°C sampai 50°C
15	Kelembaban relatif	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus mampu beroperasi selama dan setelah paparan tingkat kelembaban relatif sampai 10 – 90% pada temperatur lingkungan +40°C.
16	Proteksi uap dan debu	<ul style="list-style-type: none"> PMR, termasuk komponen-komponen yang dirancang untuk digunakan dalam lingkungan yang tak-terlindung, harus memenuhi persyaratan yang dinyatakan dalam IP Code 54, yang dilindungi dari debu dan limpasan air.
17	<i>Electrostatic Discharge (ESD)</i>	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus berfungsi secara benar setelah paparan ESD pada intensitas sampai 6 kV.
18	Kerentanan <i>Radio Frequency (RF)</i>	<ul style="list-style-type: none"> PMR harus tidak terpengaruh oleh medan RF dalam frekuensi 20 MHz sampai 2500 MHz pada intensitas 10 volt per meter (V/m).

19	Medan Magnet	<ul style="list-style-type: none">• PMR harus tidak terpengaruh oleh medan magnet 30 Ampere/meter (A/m) 60 Hz.
20	Vibrasi	<ul style="list-style-type: none">• PMR harus berfungsi secara normal ketika terpapar vibrasi yang terkait dengan peralatan yang dipasang di lokasi yang tak terlindung sampai 0,5 g pada kisaran frekuensi 10 Hz sampai 150 Hz.

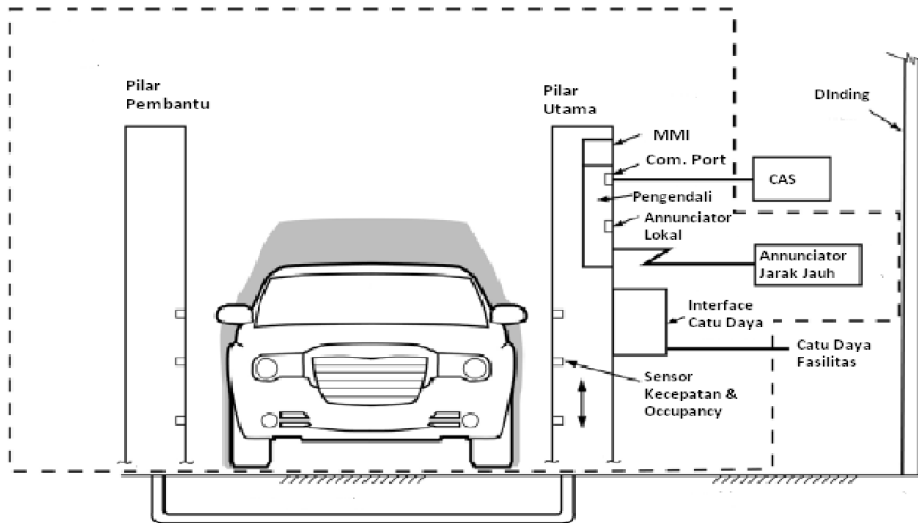
4.2. Desain Konseptual

Sistem Portal Monitor Radiasi (PMR) untuk kendaraan ini beroperasi melalui pengukuran tingkat radiasi gamma dan/atau neutron ketika sebuah kendaraan memasuki daerah deteksi. PMR lalu membandingkan tingkat radiasi ini dengan ambang alarm, yang biasanya dipengaruhi oleh tingkat radiasi latar yang sebelumnya telah diukur dan diperbarui saat daerah deteksi kosong dari kendaraan.

Portal Monitor Radiasi (PMR) merupakan monitor jenis berlalu (*pass-through*) yang biasanya terdiri atas dua pilar yang masing-masing mengandung detektor radiasi gamma dan detektor neutron, dan dipantau dari suatu panel tampilan (*display*). Komponen-komponen pendukung lainnya adalah catu daya tegangan tinggi (*high voltage power supply*), penguat awal (*pre-amplifier*), penguat (*amplifier*), pengubah sinyal (*Analog to Digital Converter/ADC*), dan penganalisis sinyal (*multi-channel analyzer/MCA*).

Skema diagram desain konseptual sistem PMR ini ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk mendeteksi bahan nuklir/radioaktif yang berada di dalam sebuah kendaraan, PMR menggunakan detektor sinar gamma dan detektor neutron. Komponen-komponen utama PMR ini adalah sebagai berikut:

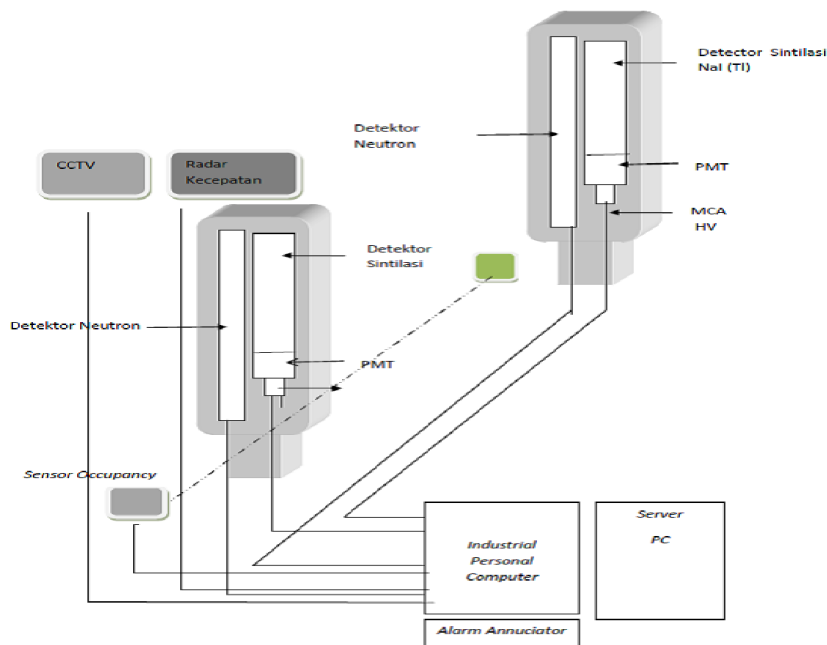
- **Pilar**
Pilar merupakan sub-unit utama dari PMR yang mengandung unit detektor dan modul elektronik. PMR ini memiliki dua pilar: pilar utama dan pilar pembantu. Komponen pilar utama meliputi *controller* (pengendali) PMR, *interface* catu daya, *interface* komunikasi ke stasiun alarm sentral (*central alarm station*), *man-machine interface*, dan *port* komunikasi. Pilar pembantu hanya berhubungan dengan pilar utama. Pilar ini juga dilengkapi dengan *sensor occupancy* dan kecepatan.
- **Kendali PMR**
Pilar utama memiliki sebuah pengendali (*controller*) yang merupakan 'otak' dari sistem PMR. Sinyal dari detektor pada pilar utama dan pilar pembantu, bersama dengan sinyal dari *sensor occupancy* dan kecepatan diterima, dan dianalisis dalam *controller* ini.
- **MMI (Man-Machine Interface)**
Pilar utama mencakup suatu antarmuka manusia-mesin (*man-machine interface/MMI*). Piranti ini memungkinkan pengguna untuk mengatur sistem, memulai operasi, dan mengamati kinerja sistem.
- **Annunciator**
Annunciator merupakan suatu elemen sistem yang memberikan indikasi visual dan audio dari status alarm sistem dan status gagal.
- **Central Alarm Station (CAS)**
Stasiun alarm pusat (*Central Alarm Station/CAS*) merupakan suatu alat integrasi yang memungkinkan pengguna untuk melihat dan mengambil keputusan berdasarkan pada informasi video, lalu lintas, dan PMR.



Gambar 3. Skema Diagram Desain Konseptual PMR^[6]

4.3. Desain Awal

Pada kegiatan perancangan PMR ini, dua jenis detektor yang digunakan adalah detektor sintilasi NaI(Tl) dan sebuah detektor neutron. Pemilihan detektor sintilasi ini berdasarkan pada efisiensinya yang tinggi untuk mendeteksi sinar gamma yang dipancarkan oleh zat radioaktif. Detektor neutron diperlukan untuk mendeteksi partikel alfa dan lithium yang dihasilkan dari reaksi ^{10}B dengan neutron. Sistem spektroskopi PMR ini juga dilengkapi dengan radar speedometer untuk mendeteksi kecepatan kendaraan dan CCTV untuk memperoleh tampilan kendaraan. Semua data hasil deteksi dari detektor sintilasi dan detektor neutron serta radar speedometer dan CCTV dihubungkan ke sebuah *industrial personal computer* yang dilengkapi dengan *alarm annunciator* untuk analisis dan evaluasi lebih lanjut. Selanjutnya, PC ini akan terkoneksi dengan Server PC. Skema desain spektroskopi PMR ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Desain Spektroskopi PMR

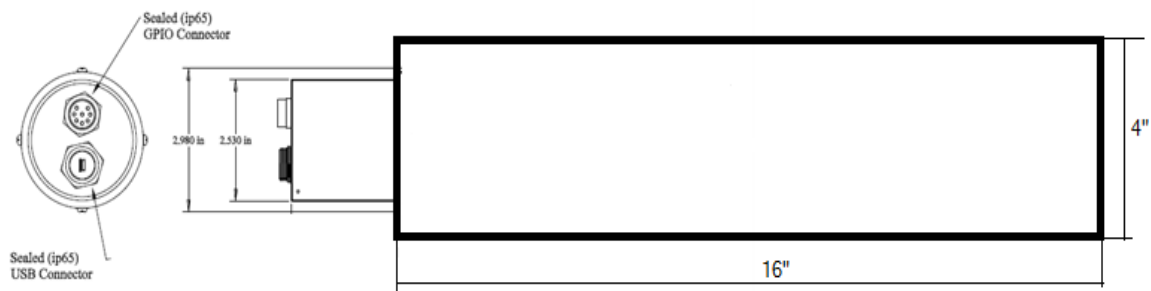
4.4. Spesifikasi Teknis

4.4.1. Detektor Sintilasi

Sinar gamma yang berinteraksi dengan sintilator menghasilkan suatu pulsa cahaya yang kemudian diubah menjadi suatu pulsa listrik oleh *photomultiplier tube* (PMT). PMT ini terdiri atas fotokatoda, suatu elektroda pemfokus, dan 10 atau lebih dinode yang melipatgandakan jumlah elektron yang menumbuk setiap dinode. Sifat-sifat material sintilasi yang diperlukan untuk menghasilkan suatu detektor yang baik adalah transparan, tersedia dalam ukuran besar, dan output sinar yang proporsional terhadap energi sinar gamma. Salah satu material yang memiliki sifat demikian adalah Natrium Iodida beraktivasi Thallium [NaI(Tl)]. Tingginya nomor atom (Z) Iodine dalam kristal NaI(Tl) membuat detektor sintilasi ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi sinar gamma dengan efisiensi yang tinggi. Spesifikasi detektor ini ditunjukkan pd Tabel 2. Gambar 5 menunjukkan gambar teknik detektor sintilasi NaI(Tl).

Tabel 2. Spesifikasi detektor sintilasi yang dibutuhkan untuk PMR

No.	Deskripsi
1	Suplai daya melalui USB
2	Terkungkung dalam pelindung logam agar tahan terhadap kelembaban
3	Dimensi 4" × 4" X 16"
4	Resolusi energi lebih dari 6,6% FWHM pada 662 keV
5	Laju cacah sampai 500.000 cps
6	Energi histogram 4096 × 32
7	Pengukuran waktu: real time, life time



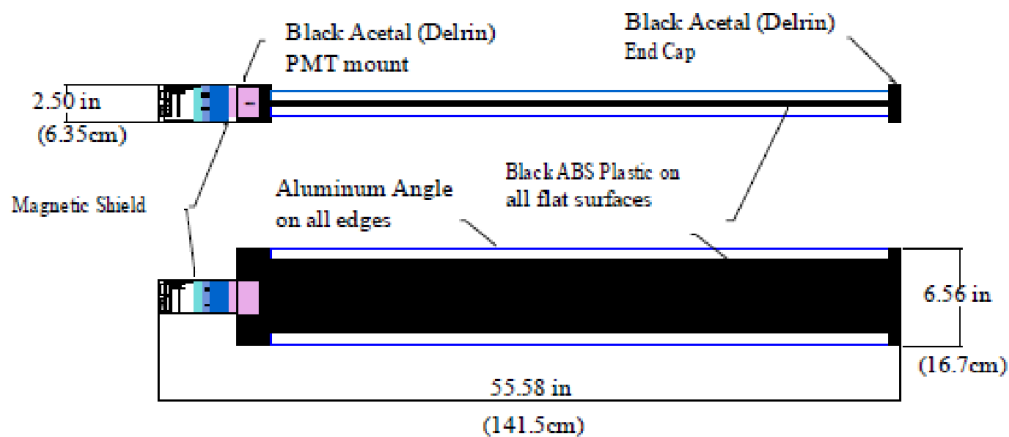
Gambar 5. Skema Detektor Sintilasi NaI(Tl)^[7]

4.4.2. Detektor Neutron

Detektor yang akan digunakan pada PMR ini adalah detektor yang berbasis ¹⁰B/ZnS(Ag) dan mengandung moderator internal. Semua elektronik sudah menyatu dengan detektor. Detektor ini memperoleh daya melalui USB atau melalui catu daya eksternal 3,3 V sampai 5,0 V/300 mA. Detektor ini memiliki internal moderator, sehingga ia dapat mendeteksi baik neutron cepat maupun neutron lambat. Gambar 6 menunjukkan skema detektor neutron berbasis ¹⁰B/ZnS(Ag). Spesifikasi detektor ini ditunjukkan pd Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Detektor Neutron $^{10}\text{B}/\text{ZnS}(\text{Ag})$

No.	Deskripsi
1	Elemen aktif deteksi: diameter 1,875 inci dan panjang 24 inci
2	Dimensi detektor : diameter 2,5 inci dan panjang 32 inci
3	Berat 2,5 kg
4	Lebar pulsa 100 nanodetik
5	Sensitivitas: tolakan (<i>rejection</i>) sinar gamma $> 50 \cdot 10^6$
6	<i>Deadtime</i> : 5 μ detik untuk neutron, 0,6 μ detik untuk sinar gamma.
7	Temperatur operasi -40°C sampai 65°C



Gambar 6. Skema Detektor Neutron Berbasis $^{10}\text{B}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ ^[3]

4.4.3. Multi-channel Analyzer (MCA)

Untuk mendukung fungsi detektor sintilasi untuk PMR ini, suatu MCA yang sangat cepat, dengan waktu konversi 100 ndetik, akan digunakan. Unit MCA ini hanya menggunakan pemrosesan sinyal digital untuk pekerjaannya, yaitu meliputi *triggering*, inspeksi *pile-up* melalui pengenalan pola (*pattern recognition*) dan identifikasi partikel (seperti diskriminasi neutron vs gamma). MCA ini dapat dioperasikan melalui USB dari komputer Windows maupun Linux:

Tabel 4. Spesifikasi MCA

No.	Deskripsi
1	Voltase: 3,3 V sampai 5,5 V
2	Arus: 450 mA sampai 900 mA
3	<i>Interface</i> komputer: USB
4	Histogram $4 \times 2\text{K} \times 32$
5	<i>Open Source API supported under Windows and Linux</i>
6	<i>Simple data server via Ethernet XML command</i> dan pertukaran data mendukung komunikasi Ethernet
7	<i>Graphical User Interface (GUI) under IGOR PRO</i>
8	GUI mendukung komunikasi melalui USB dan ethernet

4.4.4. Catu Daya *High Voltage* (HV)

Catu daya tegangan tinggi yang digunakan merupakan pembangkit tegangan tinggi dengan daya rendah untuk photomultiplier tube (PMT). Catu daya ini langsung *plug-on* pada PMT dan meliputi generator dan HV *divider* aktif untuk memberi daya pada dinode. Spesifikasi catu daya ini ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Catu *High Voltage* (HV)

No.	Deskripsi
1	Tegangan Tinggi DC dari 500 V sampai 1500 V
2	Pada tegangan 1000 V arus listrik yang mengair 20 mA
3	Catu daya DC dari 3,3 V sampai 5,5 V
4	Power <70 mW pada Vdd=3,3 V, HV = 1000 V
5	Kontrol digital Tegangan HV melalui SPI
6	Sensor temperatur HV dapat dibaca melalui SPI

4.4.5. Akuisisi Data (*Data Acquisition*)

Sistem detektor radiasi yang terdiri atas beberapa komponen, seperti detektor sintilator, *photo multiplier tube* (PMT), tegangan tinggi (*high voltage*/HV), dan *multi channel analyzer* (MCA), perlu disetel untuk aplikasi PMR ini dan menjadi suatu sensor radiasi yang dilengkapi dengan USB bus untuk antarmuka data dan kontrol, serta berkomunikasi dengan komputer terkait.

Untuk keperluan akuisisi data pada PMR ini, suatu program yang disebut dengan Morpho Data Server (MDS) akan digunakan sebagai sarana antarmuka komunikasi. Perintah aktual dan data diberikan melalui tag XML. Keuntungan dari MDS ini adalah ia dapat menyatukan kompleksitas operasi dari satu atau lebih sensor radiasi, sehingga ini membuka kemungkinan untuk mengakses sistem deteksi radiasi dari berbagai platform perangkat keras yang berbeda dan dapat menggunakan bahasa pemrograman yang paling dikenal. Spesifikasi MDS ini adalah sebagai berikut:

- Bahasa pemrograman: C++ dengan *Standard Template Library* (STL)
- MDS berkomunikasi dengan sensor radiasi melalui USB
- Semua perintah dalam format ASCII.

4.4.6. Sensor *Speedometer*

Sensor *speedometer* ini digunakan untuk mengukur kecepatan kendaraan. Data pengukuran kecepatan dikirimkan ke komputer sentral melalui RS-232. Spesifikasi sensor *speedometer* mampu memindai kisaran kecepatan kendaraan dari 1,5 sampai 50 km/jam. Juga dapat memberi alarm audio dan visual bila kecepatan kendaraan melampaui batas yang diizinkan.

4.4.7. Sensor *Occupancy*

Sensor fotoelektrik dan untai magnetik digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya kendaraan pada daerah deteksi. Suatu tirai cahaya dengan tinggi 120 cm diberikan oleh sensor *occupancy* ini untuk mengetahui celah udara antara kendaraan dan unit kontrol, seperti ditunjukkan pd Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi Sensor *Occupancy*

No.	Deskripsi
1	Berkanal ganda
2	Memiliki satu <i>relay output</i> untuk setiap kanal
3	Tahan terhadap derau tinggi
4	Memiliki indikator <i>fault</i>
5	Mempunyai empat <i>switch</i> untuk level sensitivitas

4.4.8. Komputer Sentral

Untuk pusat pengendalian dan antarmuka manusia-mesin (*man-machine interface*) serta untuk mencatat data pengukuran, suatu komputer industrial digunakan. Spesifikasi komputer sentral ini ditunjukkan pd Tabel 7.

Tabel 7. Spesifikasi Komputer Sentral

No.	Deskripsi
1	Minimal menggunakan Prosesor Intel Atom 1,8 GHz
2	Memiliki RAM 2 GB
3	Hard disk 320 GB
4	Monitor LED 19"

5. KESIMPULAN

Portal monitor radiasi (PMR) untuk kendaraan ini dirancang untuk mendeteksi bahan nuklir dan radioaktif di titik-titik pemeriksaan (*check points*) di Indonesia dalam rangka untuk mencegah terjadinya penyimpangan penggunaan dan perdagangan gelap bahan tersebut. Untuk maksud itu, persyaratan desain, desain konseptual, dan desain awal PMR ini telah dibuat. Sebanyak 20 persyaratan telah ditetapkan. Sistem deteksi menggunakan dua macam detektor, yaitu detektor sintilasi NaI(Tl) untuk mendeteksi sinar gamma dan detektor berbasis ^{10}B untuk mendeteksi neutron. Peralatan lainnya yang akan digunakan untuk pembuatan PMR ini meliputi *multi-channel analyzer* (MCA), catu daya tegangan tinggi (*high voltage/HV*), sistem data akuisisi, sensor speedometer, sensor occupancy, dan satu set komputer industrial. Rancangan dasar PMR ini dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan desain rinci yang mengarah pada pembangunan prototipenya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Reguigul, N., "*Gamma Ray Spectroscopy*," September 2006, <http://www.cnstn.nrnt.tn/afra-ict/NAT/gamma/html/Gamma%20Spec%20V1.pdf> unduh 18 Februari 2014.
- [2]. Knoll, G.F., "*Radiation Detection and Measurement*," John Wiley & Sons, New York, AS, 1989.

- [3]. Bridgeport Instruments, LLC, *Neutron Counters*, Texas, AS,
<http://www.bridgeportinstruments.com/products/ncounter/ncounter.html> akses 24 Februari 2014
- [4]. IAEA-TECDOC-1312, *Detection of Radioactive Materials at Borders*, IAEA, Wina, September 2002.
- [5]. ANSI N42.38-2006, American National Standard Performance Criteria for Spectroscopy-Based Portal Monitors Used for Homeland Security, IEEE, New York, AS, 2007.
- [6]. Battele Memorial Institute/Pacific Northwest Division, Second Line of Defence Program, *Radiation Portal Monitor Performance Specification*, Ohio, AS, 2011.
- [7]. Bridgeport Instruments, LLC, *Nal(Tl) Detectors*, Texas, AS,
http://www.bridgeportinstruments.com/products/scint_det/nai_tl.html akses 24 Februari 2014.