



Pengembangan spesifikasi teknis sistem pemantau radiasi lingkungan berbasis spektrometer gama untuk pengawasan ketenaganukliran di Indonesia

Yus Rusdian Akhmad¹, Angga Kautsar¹, Taruniyati Handayani¹, Judi Pramono¹, dan Aditia Anamta¹

¹ Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia (BAPETEN), Jl. Gajah Mada No. 8. Jakarta 10120. Indonesia

E-mail: y.rusdian@bapeten.go.id

Artikel Tinjauan

Menyerahkan

14 September 2021

Diterima

25 November 2021

Terbit

15 Desember 2021

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SPESIFIKASI TEKNIS SISTEM PEMANTAU RADIASI LINGKUNGAN BERBASIS SPEKTROMETER GAMA UNTUK PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN DI INDONESIA. Indonesian Radiation Data Monitoring System (IRDMS) merupakan network berkategori permasalahan rumit dengan faktor-faktor berpengaruh menjadi kesatuan sebagai masalah majemuk yang harus diselesaikan melalui berbagai pendekatan secara optimal. Salah satu pendekatan yang dibutuhkan adalah penerapan optimisasi. Optimisasi diperlukan antara tingkat kepekaan deteksi sumber radiasi dan jumlah alarm palsu karena radiasi latar yang dibolehkan melalui penentuan parameter operasi dari pemantau. Selain itu, optimisasi diperlukan antara biaya dan data (informasi) yang diperoleh melalui penentuan faktor faktor berpengaruh dalam pendirian pangkalan pemantauan yaitu tujuan pemasangan di lokasi (keselamatan dan/atau keamanan), demografi, subyek hukum, sumber daya, jenis (teknologi) detektor, dan radioaktivitas lingkungan. Dalam kaitannya dengan peningkatan kandungan nasional untuk penggunaan produk, maka pernyataan masalah makalah ini berfokus pada pengembangan spesifikasi teknis jenis pemantau (detektor) berbasis spektrometer gama beresolusi rendah yang sesuai dengan metode analisis yang telah dikembangkan oleh penulis untuk penentuan alarm yang dipicu oleh radiasi dari fasilitas dan/atau kegiatan tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pengembangan spesifikasi teknis IRDMS yang sesuai dengan kebutuhan pengawasan ketenaganukliran dan menjembatani kesenjangan (transisi) penerimaan kandungan nasional sebelum dapat diterima oleh para pihak menjadi SNI. Spesifikasi teknis yang diajukan ini diadopsi dari standar internasional IEC 61017:2016 dan dimodifikasi agar sesuai untuk metode analisis penentuan alarm yang diajukan dan kondisi Indonesia termasuk berkonsultasi dengan para pihak berkepentingan. Muatan spesifikasi teknis ini relatif luas cakupannya sehingga diharapkan dapat diadopsi juga oleh para pihak yang harus melakukan pemantauan lingkungan sesuai dengan kriteria pengaturan dan dengan kemampuan memberikan alarm oleh peningkatan dosis radiasi yang setara dari kejadian alam (terutama oleh hujan).

Kata Kunci: pemantauan radiasi lingkungan, spektrometer gama, verifikasi, peringatan dini

ABSTRACT

THE INDONESIAN RADIATION DATA MONITORING SYSTEM (IRDMS) IS A NETWORK CATEGORIZED AS COMPLEX PROBLEMS WITH INFLUENCING FACTORS INTO A SINGLE UNIT AS MULTIPLE PROBLEMS THAT MUST SOLVE THROUGH VARIOUS APPROACHES OPTIMALLY. One of the approaches required is the application of optimization. For example, optimization is needed between the detection sensitivity of the radiation source and the number of false alarms due to the permissible background radiation by determining the operating parameters of the monitor. In addition, optimization is needed between costs and data (information) obtained through determining the influencing factors in establishing a monitoring base, namely the purpose of installation at the location (safety and security), demographics, legal subjects, resources, type

(technology) detectors, and environmental radioactivity. To increase the national content for the use of the product, the problem statement of this paper focuses on developing technical specifications for the type of low-resolution gamma spectrometer-based monitor (detector) following the analytical method developed by the authors for the determination of alarms triggered by radiation from facilities and equipment. This study aims to develop IRDMS technical specifications following the needs of nuclear control and bridge the gap (transition) of acceptance of national content before the parties can accept it as SNI. This proposed technical specification was adopted from the international standard IEC 61017:2016 and modified to suit the proposed alarm determination analysis method and Indonesian conditions, including consultation with interested parties. The content of this technical specification is relatively broad in scope. It is hoped that it can be adopted by parties who must carry out environmental monitoring following regulatory criteria and with the ability to provide alarms by increasing radiation doses equivalent to natural events (especially by rain).

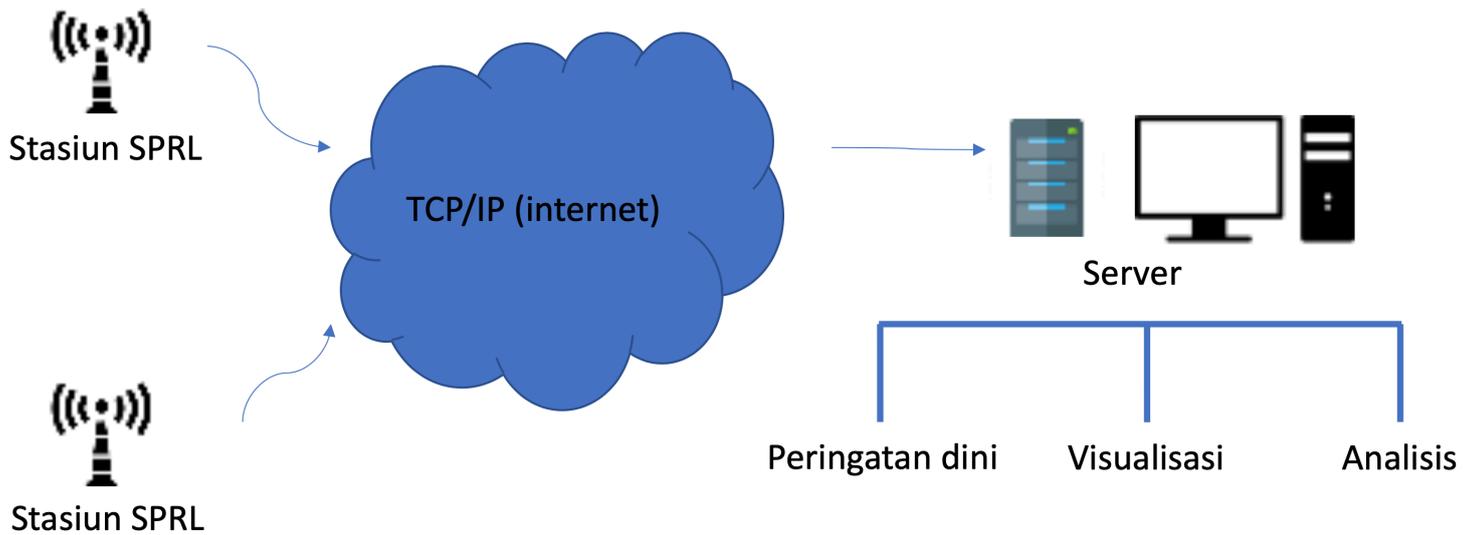
Keywords: environmental monitoring, gamma spectrometer, regulatory oversight, early warning

1. PENDAHULUAN

Tujuan pengawasan ketenaganukliran sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran adalah terjaminnya kesejahteraan, keamanan, dan ketenteraman masyarakat, keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Risiko dari pemanfaatan tenaga nuklir, terutama yang berasal dari instalasi nuklir, di antaranya adalah lepasan radioaktif ke udara yang dengan pengaruh meteorologis akan terjadi dispersi ke wilayah yang lebih luas, termasuk pula lepasan radioaktif dari negara lain yang masuk ke wilayah Indonesia. Sebagai badan pengawas, BAPETEN dalam rangka menjalankan tugas dan fungsinya mengoperasikan 29 stasiun Sistem Pemantau Radiasi Lingkungan (SPRL) dalam jaringan Indonesian Radiation Data Monitoring System (I-RDMS) tersebar di nusantara. Pemasangan SPRL tersebut sebagai bagian dari jejaring (network) peringatan dini keselamatan dan keamanan atau kebutuhan memverifikasi pemenuhan persyaratan lingkungan dari suatu fasilitas dan kegiatan nuklir di luar yang telah dipasang oleh pemegang izin instalasi nuklir yang mencakup nasional dan global berkategori persoalan kompleks dengan faktor-faktor berpengaruh, seperti tujuan pengukuran, subyek hukum dari lokasi, demografi, radiasi latar, teknologi (jenis) dari detektor, dan metode analisis yang digunakan menjadi kesatuan masalah yang harus diselesaikan melalui berbagai pendekatan [1-2]. Jumlah stasiun itu dapat bertambah dan dioptimalkan menimbang masih banyak wilayah yang belum terpantau oleh IRDMS.

Sesuai dengan perkembangan situasi nasional dan global, keberadaan jejaring ini dioptimalkan antara biaya dan perolehan data (informasi) di suatu lokasi dengan mempertimbangan faktor berpengaruh

sebagaimana disinggung di muka. Untuk kebutuhan ini penulis telah mengembangkan suatu Worksheet yang mengadopsi dari kategori tingkat kerumitan persoalan yang sama yaitu optimasi sumberdaya Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dengan luaran berupa biaya per pembangkitan listrik (Rp/kwh) menjadi optimasi sumber daya RDMS dengan luaran berupa biaya pemantauan lingkungan per pembangkitan data (Rp/station data hour) [3-5]. Secara komersial tersedia berbagai variasi sistem deteksi, yaitu berbasis spektrometer dan pencacah total, dengan berbagai metode analisisnya. Dengan berbagai variasi tersebut menyebabkan kebutuhan untuk menetapkan suatu standar yang disesuaikan dengan kebutuhan dan sumber daya BAPETEN, dengan bentuk awal berupa spesifikasi teknik (Spektek) SPRL. Dalam hal ini, penulis telah mengembangkan metode uji statistik untuk SPRL dalam menentukan alarm peningkatan dosis oleh sumber berdasarkan kombinasi data antara laju tara dosis ambien dan energi rata rata spektranya dari aliran data yang berurutan (time series) dan berkorelasi [6-9], atau berdasarkan kombinasi data antara laju tara dosis ambien dan fraksi dosis tengah (energi) dari aliran data berurutan dan berkorelasi [3] yang diperoleh dengan mengkonversi spektra terukur dengan suatu fungsi G untuk SPRL berbasis spektrometer gama berresolusi rendah sebagaimana yang digunakan pada IRDMS. Secara ringkas, parameter operasi dari pangkalan pemantau di suatu lokasi disesuaikan dengan variasi waktu dari radiasi latar untuk mencapai kondisi optimal (yang dapat diterima) antara tingkat kepekaan deteksi sumber dan jumlah alarm palsu terbangkit oleh kejadian alam, yaitu dapat mendeteksi peningkatan sekitar dose constraint 10 nSv/h untuk tapak dan menolak alarm palsu yang disebabkan kejadian hujan pada tingkat radiasi latar sekitar 40 nSv/h. State of the art dari network seperti IRDMS, yaitu



Gambar 1: Skema SPRL

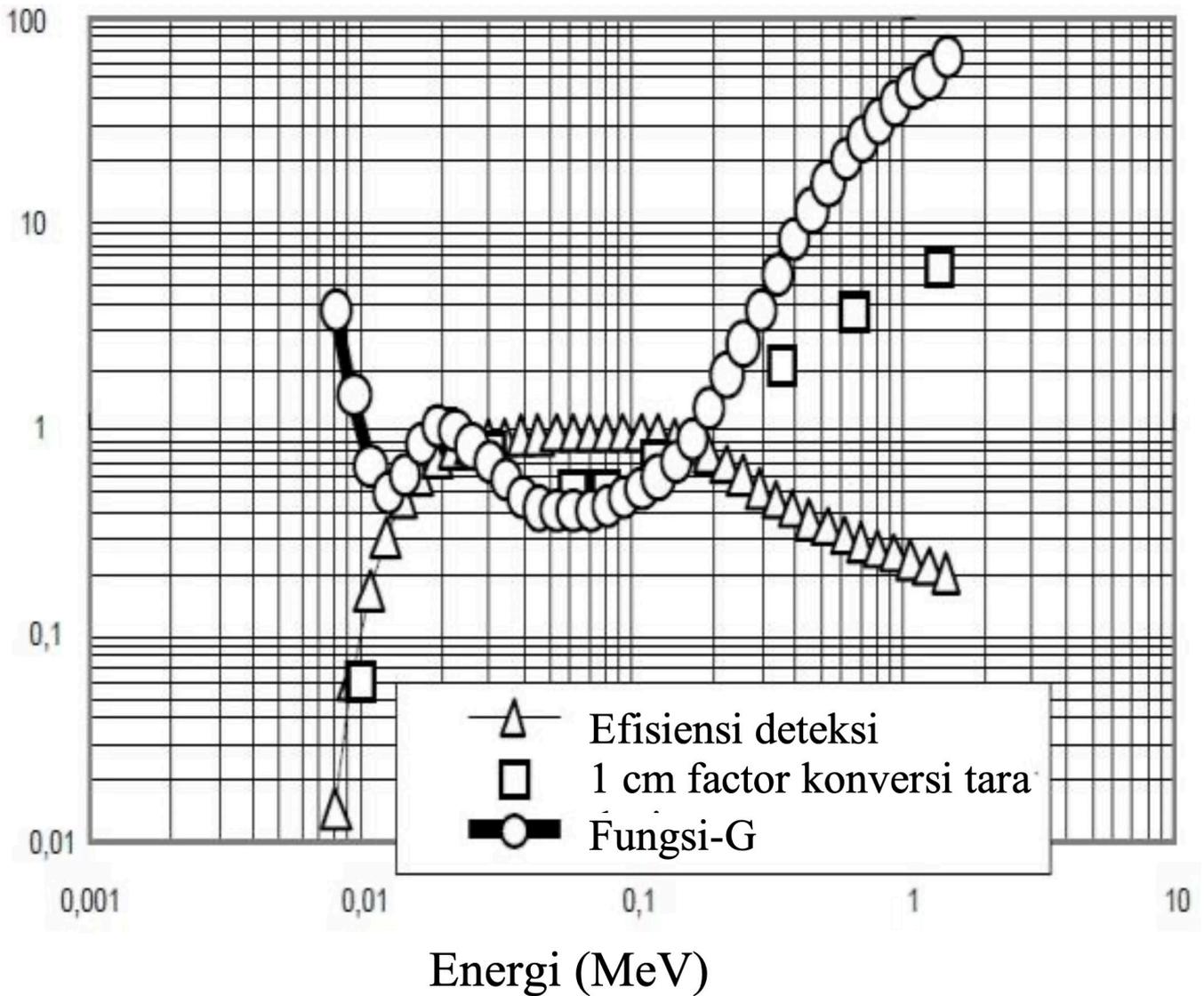
teknik mengharmoniskan data untuk sampai secepat dapat membedakan peningkatan dosis dari kejadian alam dan dari sumber yang dicurigai [2]. Untuk itu diperlukan pengembangan spesifikasi teknis jenis pemantau (detektor) berbasis spektrometer gama beresolusi rendah yang sesuai dengan metode yang diajukan agar diperoleh data selain laju tara dosis ambien juga data besaran radiologik lain sebagai penanda variasinya berasal dari kejadian alam. Uji statistik perbedaan diajukan untuk dirancang dengan algoritma tertentu dan berlangsung secara online antara kelompok data latar dan kelompok data uji. Pembangkitan alarm ditolak, dinyatakan sebagai palsu, apabila hasil uji terhadap deretan data laju tara dosis ambien dan terhadap deretan fraksi dosis tengah atau terhadap deretan energi rata spektra tidak memberikan keputusan yang sama.

SPRL yang terpasang pada saat ini semuanya berasal dari fabrikasi luar negeri. Untuk melindungi kepentingan bangsa, sudah sewajarnya Indonesia memiliki produksi SPRL dalam negeri. Dalam hal itu Pemerintah Indonesia sudah menetapkan langkah-langkah untuk pembuatan SPRL dalam negeri, dengan salah satu langkah penunjangnya berupa penyiapan infrastruktur standardisasi dan sertifikasi. Makalah ini bertujuan untuk memberikan gambaran pengembangan Spektek SPRL yang sesuai kebutuhan untuk menjalankan fungsi pengawasan ketenaganukliran dan kondisi Indonesia termasuk keterkaitannya dengan Peraturan Perundangan Undangan (PUU) yang mengaturnya.

2. POKOK BAHASAN

A. Radioaktivitas di lingkungan

Radioaktivitas yang terdapat di lingkungan berasal dari sumber alamiah dan dari hasil kegiatan manusia. Radiasi ini dapat diakibatkan dari operasi normal suatu fasilitas nuklir maupun oleh kedaruratan nuklir. Di Indonesia, tingkatan kedaruratan nuklir dibedakan menjadi kedaruratan nuklir tingkat instalasi, kedaruratan nuklir tingkat provinsi, dan kedaruratan nuklir tingkat nasional. Eskalasi tingkatan kedaruratan nuklir berdasarkan laju dosis yang terukur di batas tapak instalasi nuklir. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan Dan Keamanan Instalasi Nuklir, kedaruratan nuklir tingkat nasional, yaitu apabila laju dosis 500 mSv/jam atau lebih terukur selama 10 menit atau lebih di batas tapak instalasi dan/atau lepasan radioaktif abnormal dengan konsentrasi aktivitas udara setara dengan atau melebihi laju dosis 500 mSv/jam di batas tapak instalasi yang terdeteksi dari jalur lepasan normal. Untuk kepentingan peringatan dini kedaruratan nuklir, maka nilai laju dosis tersebut harus tercakup dalam rentang SPRL yang akan dipasang. Untuk memenuhi persyaratan paparan radiasi terencana (situasi normal) bagi masyarakat di suatu tapak, telah ditetapkan pembatas dosis (dose constraint) sebesar 0,3 mSv/tahun, yang jika dinyatakan dengan paparan kronik, nilainya sekitar 10 nSv/jam. Nilai ini dekat dengan nilai fluktuasi paparan latar belakang dari radiasi gama lingkungan. Oleh karena itu, untuk keperluan verifikasi, diperlukan suatu alat deteksi yang tidak hanya mampu mendeteksi paparan yang rendah, tapi sekaligus dapat membedakan radiasi



Gambar 2: Fungsi G-bobot spektrum (pSv/cacah) sebagai fungsi energi foton, dibandingkan dengan efisiensi pendeteksian (cacah/cm-2) dan koefisien konversi fluence terhadap dosis tara ambient (pSv/cm-2), untuk sintilator NaI (TI) (diameter 12,7 mm dan tebal silinder 12,7 mm) [10].

terukur yang berasal dari fasilitas dan kegiatan nuklir atau bukan (radiasi alam).

B. Prinsip kerja SPRL

SPRL adalah suatu integrasi sistem terpasang tetap yang terdiri dari sistem detektor radiasi, sistem penginderaan jarak jauh, dan sistem pangkalan data (data base) berbasis komputerisasi sebagaimana ilustrasi Gambar 1. Lepasn radioaktif dari suatu kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir atau radioaktivitas alam akan ditangkap oleh detektor, kemudian lewat interkoneksi penginderaan jarak jauh, informasi tersebut diteruskan ke pusat data Badan Pengawas melalui sistem pemantauan terkomputerisasi. Suatu network pemantauan radiasi lingkungan umumnya terdiri dari beberapa

stasiun SPRL yang terhubung dalam satu jaringan, mengirimkan data secara nirkabel ke pusat data dan informasi untuk ditampilkan, dianalisis, dan menjadi peringatan dini kedaruratan nuklir. Selain untuk memenuhi kebutuhan BAPETEN, informasi dari SPRL juga dapat digunakan pemegang izin fasilitas dan kegiatan penelitian nuklir. Pada beberapa produk, SPRL juga dilengkapi dengan sensor cuaca seperti temperatur udara, kelembapan udara, hujan, arah angin, dan kecepatan angin. Untuk penempatan SPRL di daerah terpencil (remote), SPRL juga dilengkapi catu daya mandiri.

Dalam rangka memenuhi rentang pengukuran laju dosis dari situasi normal sampai kedaruratan, maka diterapkan kombinasi dari jenis detektor yang

berbeda yang umum digunakan dalam pemantauan lingkungan seperti [10]:

1 Detektor kamar ionisasi.

Jenis detektor ini tepat untuk digunakan dalam pengukuran kerma udara dan dosis serapan udara dari sisi prinsip deteksi, tetapi untuk mengukur dosis tara ambien, perlu untuk meningkatkan efisiensi pendeteksian di sekitar energi foton gama 100 keV. Kelebihan utama detektor ini adalah respons energi datar yang menjangkau tingkat tara dosis situasi kedaruratan sedangkan kelemahan utamanya adalah efisiensi pencacahan yang relatif rendah. Ruang ionisasi volume besar atau ruang bertekanan tinggi cocok untuk pemantauan lingkungan membedakan radiasi latar alami. Akan tetapi untuk penggunaan di lingkungan diperlukan koreksi karena suhu dan tekanan atmosfer.

2 Detektor Geiger Mueller (GM)

Detektor GM memiliki efisiensi pendeteksian lebih tinggi daripada detektor kamar ionisasi. Untuk mengukur kerma udara, dosis serapan udara, dan tara dosis ambien, digunakan teknik kompensasi energi dengan filter yang mengoreksi efisiensi pendeteksian agar sesuai dengan nilai koefisien konversinya yang menjangkau tingkat tara dosis situasi kedaruratan. Untuk penggunaan di lingkungan, diperlukan koreksi karena faktor suhu dan tekanan atmosfer.

3 Detektor sintilator

Detektor sintilator memberikan efisiensi tertinggi dan kemudahan pengukuran radiasi lingkungan pada tingkat latar belakang dan mampu membedakan energi radiasi gama yang datang. Untuk mengukur kerma udara, dosis serapan udara, dan tara dosis ambien, diperlukan koreksi efisiensi pendeteksian. Koreksi ini dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi pembobotan spektrum (fungsi G) terhadap distribusi tinggi pulsa (spektrum energi) dari keluaran detektor. Metode fungsi G cukup berguna untuk mendapatkan tara dosis ambien dengan akurasi yang baik. Identifikasi isotop juga tersedia dari pengukuran spektrum energi. Untuk penggunaan di lingkungan, perlu dilengkapi (teknik) koreksi suhu photomultiplier.

Dengan menerapkan rumus (1), didapatkan $H^*(10)$ dari distribusi tinggi pulsa, $P(E)$, menggunakan fungsi G, $G(E)$.

$$H^*(10) = \int P(E) \cdot G(E)dE \tag{1}$$

Contoh fungsi-G untuk sintilator ukuran tertentu NaI (TI) ditunjukkan pada Gambar 2.

Referensi [11-15] menunjukkan hubungan antara kuantitas dosimetri $h(10)$ dengan spektrum terukur keluaran spektrometer dan fungsi G. Untuk berbagai ukuran dan bentuk detektor NaI(Tl), situasi iradiasi datang ke detektor dan energinya telah ditentukan dan diberikan dalam referensi [13]. Hubungan antara besaran dosimetri, keluaran spektrometer, dan fungsi G disajikan pada Persamaan 2 dan 3. Diasumsikan bahwa pemantauan dosis untuk mendapatkan tara dosis ambien melalui metode pengukuran spektral. Fungsi $G(E)$ didefinisikan, sehingga persamaan di bawah ini terpenuhi, yaitu, $h^*(10)$ per unit fluens foton (E_0) pada energi tunggal E_0 , seperti yang didefinisikan untuk koefisien konversi fluens ke tara dosis ambien $h^*(10)/\phi(E_0)$ dari Publikasi ICRP 74, dapat dihitung dengan menggunakan fungsi respon $n(E, E_0)$ dari sebuah detektor dan fungsi $G(E)$. Total tara dosis ambien foton (D) dengan energi campuran E_i dapat disajikan menggunakan distribusi tinggi pulsa per total foton fluens $P(E)$, foton fluens (E_i), dan energi foton maksimum E_{max} sebagai berikut [14]:

$$D = \sum \phi(E_i) \frac{h^*(10)}{\phi(E_i)} \tag{2}$$

$$D = \sum \int \phi(E_i) \cdot n(E, E_i) \cdot G(E)dE$$

$$D = \int \left(\sum \phi(E_i) \cdot n(E, E_i) \cdot G(E) \right) dE$$

$$D = \int (P(E) \cdot G(E)) dE$$

$$D = \sum_{i=1}^M P(E_i) \cdot G(E_i) \tag{3}$$

Laju tara dosis ambien, energi rata-rata, dosis fraksi (energi) rendah, sedang, dan tinggi dapat didefinisikan dari persamaan tersebut. Dengan demikian, total tara dosis ambien, energi rata-rata, dan fraksi dosis tengah dapat diperoleh langsung dari fungsi $G(E)$ dan distribusi tinggi pulsa, bukan dari penyingkapan spektrum energi foton [3], [6].

4 Detektor semikonduktor

Detektor semikonduktor memiliki ukuran jauh lebih kecil daripada detektor lain dan tegangan yang diterapkan dari rangkaian detektor adalah beberapa puluh volt. Respons cepat dari pulsa keluaran memungkinkan untuk mengukur tingkat pencacahan

yang tinggi, tetapi efisiensi pendeteksiannya relatif rendah. Respons energi dari efisiensi deteksi dapat dikoreksi dengan memasang filter yang memadai agar sesuai dengan setiap koefisien konversi dari fluens, untuk mengukur kerma udara, dosis serap di udara dan tara dosis ambien.

Pemilihan detektor akan sangat ditentukan oleh tujuan pengukuran dan sumber daya yang tersedia, dan akan berpengaruh terhadap kinerja sistem keseluruhan. Dari pertimbangan hal tersebut, diperlukan suatu standar Spektek SPRL.

C. Persiapan produksi SPRL dalam negeri

Kebutuhan Spektek SPRL merupakan bagian dari kebijakan dan strategi nasional dalam bidang lingkungan dan kehutanan sebagaimana tercantum dalam dalam Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Radiasi dan Nuklir. Pada Peraturan Presiden ini SPRL disebut dengan SPRL yang merupakan akronim dari Radiation Data Monitoring System. Kebijakan dan strategi dalam peraturan presiden berlaku dalam periode tahun 2020-2035 (terbagi dalam 3 segmen 5 tahunan) yang memuat kebijakan pengembangan infrastruktur dalam rangka peningkatan keselamatan nuklir dan radiasi, dengan strategi peningkatan ketersediaan dan optimalisasi sarana dan prasarana.

Diharapkan pada periode 5 tahun pertama akan:

1. tersusun peta jalan pemenuhan kebutuhan SPRL tingkat nasional, antara lain pendanaan, alokasi waktu, dan penanggungjawab dalam hal kegiatan penelitian dan pengembangan pembuatan purwarupa, pendaftaran hak kekayaan intelektual, pengadaan komponen, kapasitas produksi, pembuatan, pengadaan, lokasi pemasangan, pengoperasian dan perawatan, dan sumber daya lainnya;
2. tersedia purwarupa siap uji tahap pertama sebagai hasil dari kegiatan penelitian dan pengembangan SPRL produksi dalam negeri dan sistem penunjang;
3. tersedia purwarupa SPRL produksi dalam negeri tahap pertama yang telah diuji dan disertifikasi; dan
4. tersedia sistem yang menjamin ketersediaan komponen SPRL produksi dalam negeri.

Terkait prioritas pengembangan peran lembaga di dalam negeri untuk menyediakan komponen SPRL produksi dalam negeri, dalam rangka peningkatan

kemampuan produksi dalam negeri, termasuk mengoptimalkan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) diikuti pemantauan dan evaluasinya, serta persiapan sumber daya manusianya, diharapkan pada periode 5 (lima) tahun kedua, yaitu 2025-2030 akan:

1. tersedianya kemudahan atau fasilitasi dalam penyediaan komponen SPRL produksi dalam negeri;
2. tersedianya inisiasi produksi SPRL dalam negeri;
3. terlaksananya pemantauan dan evaluasi terhadap TKDN dalam SPRL produksi dalam negeri; dan
4. tersedianya SDM yang siap untuk melakukan pengoperasian dan perawatan SPRL produksi dalam negeri di lokasi sesuai dengan peta jalan pembuatan SPRL produksi dalam negeri.

Proses berkesinambungan akan dilaksanakan pada periode selanjutnya.

Selanjutnya persiapan produksi SPRL dalam negeri menjadi bagian dari program Prioritas Riset Nasional 2020-2024. Kegiatan penyusunan Spektek SPRL pada Prioritas Riset Nasional 2020-2024 merupakan bagian pendukung dari tema riset Sistem Pemantauan Radiasi untuk Memonitor Unsur Radioaktif. Riset ini memiliki Sistem Pemantauan Radiasi Laik Industri, Prototipe Alat Pengukur Radiasi Lingkungan Laik Industri, dan Kebijakan Pendukungnya dengan produk inovasi nasional Sistem Pemantauan Radiasi Lingkungan.

SPRL sendiri merupakan bagian dari Sistem Pemantauan Radiasi untuk Keselamatan dan Keamanan (SPRKK). SPRKK adalah suatu sistem terintegrasi yang pemanfaatannya untuk mendeteksi ada atau tidak bahan radioaktif baik dari lingkungan maupun yang masuk ke Indonesia yang bisa mengganggu keselamatan dan keamanan. Salah satu bagian dari SPRKK, yaitu Radiation Portal Monitoring (RPM) sudah memiliki standar nasional SNI IEC 62244:2016 tentang Instrumentasi proteksi radiasi –Monitor radiasi yang terpasang untuk deteksi bahan nuklir khusus dan radioaktif di perbatasan wilayah yang merupakan adaptasi identik dari IEC 62244:2006. Sementara untuk SPRL belum memiliki standar kualitas sehingga penyusunan Spektek merupakan langkah awal dalam pembentukan standar SPRL.

D. Standardisasi SPRL

Supaya produk SPRL yang digunakan memiliki kualitas yang diakui dan tertelusur, diperlukan pengembangan standar. Berdasarkan Undang-

Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian, pada bagian menimbang dinyatakan bahwa dalam rangka melindungi kepentingan negara, keselamatan, keamanan, dan kesehatan warga negara serta perlindungan flora, fauna, dan pelestarian fungsi lingkungan hidup diperlukan standardisasi dan penilaian kesesuaian. Untuk industri, sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 86 Tahun 2009 tentang Standar Nasional Indonesia Bidang Industri, selain dalam bentuk standar, selama belum menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI) maka dapat berupa Spektek. Berdasarkan Peraturan Menteri Perindustrian No. 4 tahun 2018 tentang Tata Cara Pemberlakuan Standar Industri Secara Wajib, Spektek didefinisikan sebagai dokumen persyaratan teknis yang mengacu pada sebagian persyaratan SNI dan/atau standar internasional.

Dalam penerapan Spektek secara wajib, peran pemangku kepentingan yang terlibat dalam standardisasi secara garis besar dibagi menjadi beberapa fungsi utama yaitu [16]:

1. Fungsi regulator, yaitu lembaga yang berfungsi sebagai perumus berbagai kebijakan nasional maupun lembaga yang menyusun regulasi teknis terkait dengan aturan dan prosedur pelaksanaan kebijakan. Contoh: Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Badan Standardisasi Nasional (BSN), dan Komite Akreditasi Nasional (KAN).
2. Fungsi implementor, yaitu pelaksana kebijakan, baik untuk instansi teknis maupun produsen dan berbagai pihak terkait untuk melaksanakan kebijakan standardisasi.
3. Fungsi pembina, yaitu lembaga atau berbagai pihak yang terlibat dalam pembinaan, pengawasan, maupun pengevaluasi kebijakan yang diterapkan. Contoh: instansi teknis dan lembaga pelatihan.

E. Sistem Pemantau Cuaca

Untuk kepentingan analisis lebih lanjut seperti pemantauan sebaran zat radioaktif lebih lanjut, SPRL perlu disandingkan dengan detektor cuaca berupa detektor temperatur, kelembapan udara, hujan, kecepatan angin, dan arah angin. Di Indonesia, pemantauan cuaca dilakukan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Salah satu teknologi canggih yang memungkinkan untuk pemantauan cuaca secara waktu sebenarnya (real time) adalah Automatic Weather Station

(AWS). AWS merupakan alat untuk mengukur unsur-unsur cuaca secara otomatis. Unsur yang diukur adalah suhu, angin, kelembapan, radiasi matahari, curah hujan, dan tekanan udara. Alat ini diletakkan di wilayah yang berada di luar jangkauan stasiun pengamatan. AWS merupakan serangkaian sensor meteorologi yang disusun secara terpadu dan secara otomatis mencatat data meteorologi yang kemudian menghasilkan pulsa-pulsa elektrik yang akan ditampung dan diubah dalam pencatat data (data logger) sehingga dapat ditampilkan pada layar komputer [17-18].

3. METODE

Spektek dikembangkan melalui kajian standar IEC 61017:216 dengan cara mempertimbangkan metoda usulan analisis untuk optimisasi penentuan alarm besaran radiologik dan berkonsultasi kepada para pihak berkepentingan dalam hal standardisasi, perdagangan (ekspor-impor), Litbang, Pengawasan, dan manufaktur yang mencakup analisis kuantitatif dan kualitatif terhadap parameter standar tersebut di muka. Argumen dan eviden dari literatur maupun pengalaman operasi dari sistem pemantauan radiasi lingkungan yang termasuk dalam kategori standar ini telah diajukan. Berlandaskan proses tersebut sebagian parameter IEC 61017:2016 dimodifikasi untuk memenuhi kebutuhan pengawasan ketenaganukliran dan Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2019 tentang kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi sehingga diperoleh pengembangan Spektek sebagaimana ditegaskan pada ruang yang lebih leluasa di bagian Hasil dan Pembahasan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Standardisasi SPRL

Dokumen IEC 61017:2016 tentang radiation protection instrumentation – transportable, mobile or installed equipment to measure photon radiation for environmental monitoring memberikan standar untuk pemantau lingkungan yang terpasang tetap, dapat diangkut, atau mudah berpindah (mobile). Untuk kepentingan penyusunan Spektek SPRL, dilakukan modifikasi terhadap unsur yang terdapat di dalam dokumen IEC tersebut, disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi di Indonesia.

Lingkup yang dimasukkan ke dalam persyaratan Spektek SPRL adalah untuk pemantau lingkungan

yang terpasang tetap. Sehingga terdapat beberapa persyaratan pada IEC yang tidak dimasukkan ke dalam Spektek SPRL, seperti kemampuan menahan guncangan bagi pemantau lingkungan yang mobil atau dapat diangkut. Pada bagian ini, persyaratan dan rekomendasi minimum, merupakan ringkasan muatan Spektek, dijelaskan untuk menyelaraskan pemantauan melalui pengukuran radiasi lingkungan secara real time, karena metode pengumpulan data dan prosedur validasi yang terstandarisasi dan disepakati diperlukan untuk menilai paparan radiasi lingkungan terhadap masyarakat dengan benar.

SPRL terdiri atas stasiun pemantau dan sistem informasi. Stasiun pemantau terdiri atas perangkat detektor, perangkat pemrosesan, dilengkapi fasilitas alarm, komunikasi data, dan catu daya.

Detektor pada SPRL terdiri atas detektor radiasi dan cuaca. Karakteristik umum dari detektor SPRL adalah:

1 Detektor radiasi

Pada IEC 61017:2016, jenis detektor dapat berupa detektor kamar ionisasi, detektor GM, detektor sintilasi, dan detektor semikonduktor. Pada Spektek SPRL dibatasi terutama untuk kemampuan spektrometer untuk membedakan radionuklida berdasarkan tingkat energinya sehingga lebih dipilih penggunaan detektor sintilasi. Untuk mencakup rentang energi dan laju dosis, detektor dapat kombinasi antara 2 detektor sintilasi atau dapat pula dikombinasikan dengan detektor GM untuk penggunaan pada rentang energi tinggi.

Peralatan harus mampu mengukur laju kerma udara, laju dosis serap udara atau laju tara dosis ambien untuk energi foton pada rentang minimal 50 keV hingga 3 MeV. Indikasi perangkat harus dinyatakan dalam satuan dosis tara ambien, Sv. Rentang efektif pengukur laju dosis dan dosis berada antara beberapa nSv/jam hingga setidaknya 1 mSv/jam untuk mencakup nilai laju dosis kedaruran tingkat nasional.

Jika lebih dari satu detektor digunakan untuk pengukuran, sakelar otomatis harus disediakan di antara detektor saat mengubah rentang, dan pengukuran yang sesuai serta skala pembacaan harus simultan.

Metode pengolahan data dari distribusi tinggi pulsa menjadi data dan informasi dalam besaran

dosimetrik harus diberikan dengan jelas di dalam dokumen pemasangan dan operasi SPRL.

Pengujian untuk detektor radiasi meliputi uji linearitas, uji variasi respons terhadap energi foton, variasi respons terhadap sudut datang, karakteristik beban berlebih, fluktuasi statistik, serta waktu pemanasan.

2 Detektor cuaca

IEC 61017 tidak mencakup persyaratan untuk detektor cuaca. Pada Spektek SPRL hal ini ditambahkan untuk kepentingan analisis dan kedaruratan nuklir. Karakteristik detektor cuaca mengikuti pedoman internasional yang dikeluarkan oleh World Meteorological Organization (WMO), yaitu Guide on Instrumentation and Methods of Observation (WMO No. 8) yang juga menjadi acuan stasiun meteorologi BMKG. Jenis detektor cuaca yang diperlukan dalam SPRL meliputi arah dan kecepatan angin, hujan, temperatur, tekanan, dan kelembapan udara. Rentang ukur harus mencakup sifat cuaca yang terdapat di Indonesia, termasuk untuk kondisi ekstrem. Detektor cuaca tidak perlu tersedia apabila detektor SPRL diletakkan berdampingan dengan stasiun AWS dan telah dilakukan kerja sama terkait permintaan data meteorologi.

Pengujian untuk detektor cuaca mengikuti kriteria dari BMKG dan WMO.

3 Kemudahan dekontaminasi

Perangkat harus dirancang dan dibangun sedemikian rupa untuk meminimalkan risiko terkontaminasi saat digunakan dan untuk memfasilitasi dekontaminasi dengan menggunakan bahan nonreaktif halus yang tahan kontaminasi.

4 Fasilitas alarm

Perangkat yang dipasang untuk mengukur laju dosis, alarm dan fasilitas alarm kesalahan instrumen harus sesuai dengan tujuan pemasangan peralatan. Unit alarm harus dapat beroperasi, baik untuk tetap aktif maupun untuk dapat secara khusus disetel ulang dengan kendali atur ulang atau untuk secara otomatis mengatur ulang ketika status alarm menghilang. Fungsi alarm serta batasnya harus disepakati antara pembeli dan produsen.

Pada IEC 61017 hanya dipersyaratkan fungsi alarm harus mencakup 3 keadaan, yaitu alarm level tinggi, alarm level rendah, dan alarm kegagalan

peralatan. Namun pada Spektek SPRL ditambahkan fungsi alarm sesuai permintaan/kebutuhan dari pengawasan.

Pengujian dilakukan terhadap persyaratan alarm, waktu tanggap alarm, dan stabilitas.

5 *Catu daya*

Modifikasi dari IEC 61017:2016 pada bagian catu daya adalah adanya persyaratan catu daya utama yang berasal dari baterai yang dapat diisi ulang dari sumber listrik mandiri. Catu daya juga harus dapat terhubung ke sumber listrik jaringan. Pengalihan ke sumber listrik jaringan harus disediakan ketika terjadi kegagalan baterai. Untuk penempatan di daerah terpencil, baterai harus mampu menyuplai daya hingga catu daya dialihkan ke sumber listrik jaringan atau dilakukan perbaikan sumber listrik mandiri. Kompabilitas dan ketersediaan baterai di dalam negeri harus mudah diperoleh.

6 *Kompabilitas elektromagnetik*

unit pemantauan harus mampu beroperasi dengan tepat dalam gangguan elektromagnetik, terutama medan frekuensi radio. Gangguan elektromagnetik dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan pembacaan radiasi, atau perubahan fungsional dalam sistem pemantauan (misalnya, aktivasi alarm).

Pengujian kompabilitas elektromagnetik dilakukan terhadap pelepasan muatan listrik statis, medan elektromagnetik umum, gangguan karena semburan, lonjakan, frekuensi radio, ketahanan terhadap gelombang cincin, medan magnet 50/60 Hz, serta penurunan tegangan.

7 *Karakteristik lingkungan*

Peralatan pemantauan harus mampu beroperasi pada kisaran suhu -25°C hingga $+55^{\circ}\text{C}$. Peralatan pemantauan harus dapat beroperasi selama dan setelah paparan hingga tingkat kelembapan relatif 90% pada suhu ambien $+35^{\circ}\text{C}$. Peralatan pemantauan harus dirancang untuk mencegah masuknya uap air. Produsen harus menyatakan tindakan pencegahan yang telah diambil untuk mencegah masuknya uap air. Penyegehan peralatan pemantauan harus memenuhi persyaratan IPX3 dalam IEC 60529.

Selain spesifikasi detektor SPRL, SPRL juga harus dilengkapi dengan perangkat komunikasi data untuk

mengirimkan data ke server dan ditampilkan pada sistem informasi SPRL. Perangkat komunikasi data yang harus tersedia pada stasiun SPRL adalah koneksi nirkabel dengan kemampuan menangkap sinyal yang kuat. Perangkat juga harus dilengkapi komunikasi lewat kabel untuk keperluan pemeliharaan dan uji kerja. SPRL juga harus dilengkapi perangkat Global Positioning System (GPS) untuk menunjukkan lokasi stasiun SPRL terpasang.

Sementara itu pusat data dan sistem informasi SPRL harus memiliki fungsi minimal, yaitu [19]:

1. Pengumpulan dan integrasi data dari berbagai detektor SPRL.
2. Analisis data. Fungsi sistem pemrosesan data terpusat (seperti pembuatan peringatan, presentasi grafis, penyimpanan data, dll.) secara waktu sebenarnya dan kemampuan untuk menangani semua data yang dikirim ke sistem pusat oleh stasiun detektor SPRL.
3. Pelaporan data. Sistem harus mengelola kejadian peningkatan laju dosis dan menyediakan laporan untuk personel yang bertugas, terutama untuk tujuan peringatan dini. Pelaporan alarm teknis tertentu disarankan hanya selama hari kerja berbeda dengan alarm radiologis yang harus bisa tersedia setiap saat. Sistem harus fleksibel agar dapat melaporkan data kepada pengguna dengan cara yang berbeda (grafik, alarm, parameter, informasi status sistem, dan lain-lain).
4. Operasi basis data. Sistem pemrosesan data pusat harus menyimpan semua data laju dosis, parameter, distribusi tinggi pulsa (spektrum energi), dan hasil evaluasi data yang diringkas dalam pangkalan data. Sistem harus dapat mengeksport data dengan mudah dalam berbagai cara dan format.

5. SIMPULAN

Spektek SPRL terdiri atas Spektek detektor SPRL dan Spektek pusat data dan informasi SPRL. Spektek SPRL merupakan modifikasi dari IEC 61017, disesuaikan dengan kebutuhan pengawasan, metode analisis usulan, dan kondisi di Indonesia. Langkah selanjutnya untuk diupayakan adalah bagaimana infrastruktur untuk sertifikasi detektor SPRL dapat dibangun, termasuk peraturan dan pengujiannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada BRIN dan LPDP yang telah membiayai untuk kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, International Radiation Monitoring System: User Manual IRMIS Version 3.0.0, February 2020.
- [2] U. Stöhlker et al, The German Dose Rate Monitoring Network and Implemented Data Harmonization Techniques, (2018).
- [3] Laporan Monev II (terbatas, diajukan untuk suatu Jurnal bereputasi) LPDP 2021, Y.R. Akhmad., dkk, Optimizing Operational Parameters and Method for Installation of Radiation Data Monitoring Network.
- [4] Amritpal Singh Agar, Giorgio Locatelli, Economics of nuclear power plants, Nuclear Reactor Technology Development and Utilization 1st edition”, Edited by Salah Ud-Din Khan and Alexander Nakhobov, Woodhead Publishing.
- [5] Yus R. Akhmad, Bakri Arbie, A study on the introduction of s demonstration plant for the clean and efficient production of water and electricity in Indonesia, National Nuclear Energy Agency, IAEA-TECDOC-1184, https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/001/32001532.pdf
- [6] Laporan Monev I (terbatas, diajukan untuk suatu Jurnal bereputasi) LPDP 2021 an. Y.R. Akhmad, dkk., Optimization of Alarms Setting for Environmental Monitoring Station Based on Low-Resolution Gamma Spectrometer: Radiological Data Monitoring System (RDMS) in Indonesian
- [7] Kernel-Based Machine Learning for Background Estimastion of NaI Low-Count Gamma-Ray SpectraT, (2013).
- [8] Gregory R. Romanchek, Zheng Liu, Shiva Abbaszadeh, Kernel-based Gaussian process for anomaly detection in sparse gamma-ray data, (2019).
- [9] Thomas Hjerpe, Robert R. Finck, and Christer Samuelsson, Statistical Data Evaluation In .Mobile Gamma Spectrometry: An Optimization of On-Line Search Strategies in the Scenario of Lost Point Sources, (2001).
- [10] International Electrotechnical Commission, Radiation protection instrumentation – Transportable, mobile or installed equipment to measure photon radiation for environmental monitoring, IEC 61017 edition 1.0, 2016.
- [11] A. Vargas, N. Cornejo, and A. Camp, “Comparison of methods for H*(10) calculation from 400 measured LaBr3(Ce) detector spectra,” Appl. Radiat. Isot., vol. 137, no. March, pp. 241–249, 401 2018, doi: 10.1016/j.apradiso.2018.03.026.
- [12] H. Dombrowski, Area Dose Rate Values Derived from NaI or LaBr3 Spectra, (2014).
- [13] M. Tsutsumi, K. Saito, and S. Morouchi, “Spectrum-dose Conversion Operators, G(E) 409 Functions of NaI(Tl) Scintillators Adapted for Effective Dose Equivalent Quantities, JAERI-410 M 91-204,” 1991.
- [14] Kyeongjin Park, Jinhwan Kim, Kyung Take Lim, Junhyeok Kim, Hojong Chang, Hyunduk Kim, Manish Sharma, Gyuseong Cho, Ambient dose equivalent measurement with a CsI(Tl) based electronic personal dosimeter, (2019).
- [15] Shuichi Tsuda, Kimiaki Saito, Spectrum-dose conversion operator of NaI(Tl) and CsI(Tl) scintillation detectors for air dose rate measurement in contaminated environments, (2016).
- [16] Fermilia, Manda, Urgensi Penyusunan Peraturan Mengenai Sertifikasi Produk Nuklir, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, 2018.
- [17] Aldrian, Edwin, Sistem Peringatan Dini Menghadapi Iklim Ekstrem, Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 10 No. 2, 2016.
- [18] BMKG, Buletin Cuaca dan Iklim, Vo. 2, 2019
- [19] Dowbrowski, H et al, Recommendations to harmonize European early warning dosimetry network systems, Journal of Instrumentation, 2017.