

## Kajian Awal Konsep Inspeksi Keselamatan Radiasi di Fasilitas Industri dan Kesehatan dengan Metode Daring: Studi Kasus

Samsu Riza Wibowo<sup>1</sup>, Baiduri Widanarko<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia  
e-mail: rizaparakan@gmail.com<sup>1</sup>, baiduri@ui.ac.id<sup>2</sup>

### Abstrak

Pemanfaatan tenaga nuklir tidak hanya untuk pembangkit energi listrik tetapi juga digunakan di dunia industri, penelitian dan kesehatan. Dalam pemanfaatan tenaga nuklir tersebut diperlukan adanya pengawasan karena selain manfaat yang besar juga mempunyai potensi bahaya radiasi. Pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir salah satunya dengan inspeksi keselamatan radiasi. Dalam pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi masih terdapat kendala terkait dengan ketersediaan jumlah inspektur dan lokasi pengguna sumber radiasi pengion yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Kondisi pandemi COVID-19 yang terjadi di awal tahun 2020 memberikan tantangan yang lain dalam pelaksanaan inspeksi. Pelaksanaan inspeksi daring bisa menjadi salah satu solusi dalam menjawab tantangan-tantangan tersebut. Metode yang digunakan dalam menyusun penelitian ini yaitu dengan pendekatan studi kasus dengan beberapa tahapan mulai dari tinjauan pustaka, membandingkan dengan inspeksi sejenis dan studi kasus pelaksanaan verifikasi perizinan yang memiliki skema seperti inspeksi keselamatan radiasi serta wawancara dengan para inspektur yang telah melaksanakan inspeksi di fasilitas industri dan kesehatan. Pelaksanaan inspeksi daring di bidang industri dan kesehatan tidak bisa langsung diterapkan pada semua tahapan inspeksi karena disesuaikan dengan tingkat risiko paparan radiasi, rekam jejak inspeksi sebelumnya dan sarana prasarana penunjang daring. Untuk fasilitas dengan risiko rendah dan rekam jejak inspeksi yang baik maka bisa dilakukan inspeksi daring secara penuh sedangkan fasilitas dengan risiko tinggi dilakukan inspeksi dengan metode gabungan antara daring dan *onsite*. Hasil dari penelitian ini bisa menjadi masukan untuk pembaruan prosedur pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi.

**Kata kunci:** Tenaga Nuklir, Inspeksi, Daring

### Abstract

The utilization of nuclear power is not only for generating electrical energy but also used in industry, research and health. In the utilization of nuclear power, it is necessary to have supervision because in addition to the great benefits, it also has the potential for radiation hazards. One of the ways to monitor the use of nuclear energy is by inspecting radiation safety. In the implementation of radiation safety inspections, there are still obstacles related to the availability of the number of inspectors and the location of ionizing radiation source users scattered throughout Indonesia. The condition of the COVID-19 pandemic that occurred in early 2020 provided another challenge in the implementation of inspections.. The implementation of online inspections can be one solution in responding to these challenges. The method used in compiling this research is a case study approach with several stages starting from a literature review, comparing with similar inspections and case studies on the implementation of licensing verification that has a scheme such as radiation safety inspections as well as interviews with inspectors who have carried out inspections at industrial facilities and health. The implementation of online inspections in the industrial and health sectors cannot be directly applied to all inspection stages because they are adjusted to the level of radiation exposure risk, track record of previous inspections and online supporting infrastructure. For facilities with low risk and a good inspection track record, a full

online inspection can be carried out, while the facilities with a high risk carried out inspection with the combined method between online and onsite. The results of this study can be used as input for updating the radiation safety inspection procedures.

**Keyword:** Nuclear Power, Inspection, Online

## PENDAHULUAN

Tenaga dalam bentuk apa pun yang dibebaskan dalam proses transformasi inti, termasuk tenaga yang berasal dari sumber radiasi pengion disebut sebagai tenaga nuklir (Indonesia, 1997). Pemanfaatan tenaga nuklir tidak hanya untuk pembangkit energi listrik tetapi juga digunakan di dunia industri, penelitian dan kesehatan. Di dunia industri telah dikenal berbagai jenis pemanfaatan tenaga nuklir baik yang menggunakan zat radioaktif di antaranya pemanfaatan zat radioaktif Co-60 untuk irradiator (IAEA, 2010), Cs-137 untuk *Non-Destructive Test* (NDT) (IAEA, 2020b), Co-60 untuk *well logging* (IAEA, 2020c), Kr-85 untuk *thickness gauging* dan pembangkit radiasi pengion/x-ray untuk *quality control* (XRD/XRF) (IAEA, 1997) sedangkan di dunia kesehatan penggunaan sumber radiasi pengion dan zat radioaktif digunakan dalam diagnostik dan terapi (IAEA, 2005), (World-Nuclear-Association, 2021). Sampai dengan tahun 2018 terlihat tren kenaikan jumlah KTUN yang diterbitkan oleh BAPETEN yang berarti terjadi tren kenaikan pemanfaatan sumber radiasi pengion baik untuk industri maupun kesehatan (Huda, 2021).



**Gambar 1. Jumlah KTUN yang terbit sampai dengan 2018 (Huda, 2021)**

Dalam pemanfaatan tenaga nuklir tersebut diperlukan adanya pengawasan karena selain manfaat yang besar juga mempunyai potensi bahaya radiasi (Indonesia, 1997). Pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir dilakukan pemerintah melalui Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dalam rangka menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Pengawasan yang dilakukan BAPETEN mencakup tiga pilar utama pengawasan yaitu peraturan, perizinan dan inspeksi (Indonesia, 1997).

Peraturan dihasilkan melalui beberapa tahapan mulai dari analisis permasalahan yang menghasilkan laporan hasil kajian, konsepsi atau naskah akademis. Kemudian hasil dari analisis permasalahan tersebut dirumuskan menjadi sebuah rancangan peraturan. Tahapan berikutnya yaitu harmonisasi rancangan peraturan baik internal BAPETEN maupun antar Kementerian atau Lembaga. Tahap akhir dilakukan pengesahan dan pengundangan oleh Kemenkumham.

Dalam proses perizinan, BAPETEN akan memberikan kewenangan kepada pihak terkait yang memenuhi persyaratan pemanfaatan tenaga nuklir. Proses perizinan dimulai dari tahap evaluasi administrasi, evaluasi teknis, evaluasi legal, hingga penerbitan Surat Keputusan Tata Usaha Negara (KTUN) berupa izin atau persetujuan. Setiap permohonan izin atau persetujuan baru harus melalui penilaian administratif, legal dan teknis dan jika perlu akan dilakukan verifikasi di tempat. Untuk perpanjangan izin dilakukan evaluasi administratif dan teknis dengan memperhatikan hasil pemeriksaan selama masa berlaku izin sebelumnya.

Inspeksi penggunaan tenaga nuklir di bidang industri dan kesehatan yang dilakukan di seluruh wilayah Indonesia selama ini menggunakan pendekatan bertingkat dengan memperhatikan manajemen risiko. Untuk fasilitas dengan risiko tinggi maka akan diinspeksi satu tahun sekali, risiko sedang 2-3 tahun sekali dan risiko rendah empat tahun sekali (BAPETEN, 2017). Penentuan frekuensi inspeksi didasarkan pada dokumen IAEA TecDoc 1526. Inspeksi dilaksanakan untuk memastikan ditaatinya syarat-syarat dalam perizinan dan peraturan ketenaganukliran. Dalam pelaksanaannya masih terdapat kendala terkait dengan ketersediaan jumlah inspektur dan lokasi pengguna sumber radiasi pengion yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Dalam mengatasi kendala tersebut BAPETEN mulai mengenalkan konsep inspeksi partisipatif yaitu dengan melibatkan pengguna untuk melakukan penilaian mandiri (BHKKP/pd, 2019). Penilaian mandiri ini dilakukan dengan mengisi Laporan Keselamatan Fasilitas (LKF) di Balis Infara melalui website [balis.bapeten.go.id](http://balis.bapeten.go.id).

Namun pandemi COVID-19 yang terjadi di awal tahun 2020 memberikan tantangan yang lain dalam pelaksanaan inspeksi. Beberapa negara anggota IAEA melaporkan bahwa terdapat sejumlah pembatasan dalam perjalanan dan akses masuk ke instansi dalam pelaksanaan inspeksi (IAEA, 2020a). Hal serupa juga terjadi di Indonesia. Dengan adanya kebijakan PSBB (Indonesia, 2020) hingga PPKM (Kemdagri, 2021), pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi di bidang industri dan kesehatan harus menyesuaikan peraturan terbaru pemerintah dalam memutus rantai penularan COVID-19 dan kondisi lapangan seperti pembatasan perjalanan, akses terbatas di kawasan industri tertentu sampai dengan persyaratan kesehatan sebelum memasuki instansi yang akan diinspeksi.

Solusi yang dapat diterapkan untuk tetap melaksanakan inspeksi keselamatan radiasi di masa pandemi ini adalah inspeksi secara daring seperti yang telah dilakukan oleh beberapa negara anggota IAEA (IAEA, 2020a). Namun pelaksanaan inspeksi ini tidak dilakukan melalui panduan dari IAEA karena IAEA belum mengeluarkan rekomendasi resmi terkait dengan inspeksi daring. Negara-negara anggota IAEA melaksanakan inspeksi daring disesuaikan dengan kondisi masing-masing negara dengan tetap berpedoman dengan TecDoc 1526 tentang inspeksi sumber radiasi. Peneliti mengambil topik terkait praktek inspeksi keselamatan radiasi secara daring karena belum dilakukan di Indonesia dan kebutuhan akan inspeksi daring di Indonesia sangat diperlukan baik di masa pandemi maupun di masa yang akan datang serta keluaran dari penelitian ini bisa menjadi masukan dalam pembaruan prosedur maupun panduan dalam pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi terutama di bidang industri dan kesehatan.

## METODE PENELITIAN

Dari hasil pencarian literatur di beberapa jurnal menunjukkan belum ada penelitian terkait dengan metode inspeksi keselamatan radiasi di fasilitas industri dan kesehatan secara daring. Strategi yang diadopsi menggunakan beberapa tahapan mulai dari tinjauan pustaka, membandingkan dengan inspeksi sejenis dan studi kasus.

Tinjauan pustaka terkait dengan praktek inspeksi jarak jauh yang dilakukan di beberapa bidang lain yang memiliki tahapan inspeksi keselamatan seperti konstruksi, produksi obat dan fabrikasi. Langkah selanjutnya membandingkan dengan metode inspeksi jarak jauh yang dikembangkan dalam inspeksi *safeguard* (inspeksi yang dilaksanakan untuk memastikan bahwa penggunaan zat radioaktif dan bahan nuklir digunakan untuk tujuan damai). Dan terakhir melakukan studi kasus terkait dengan pelaksanaan proses verifikasi perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion yang sudah dilakukan oleh Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (DPFRZR) secara *blended* antara daring dengan verifikasi lapangan secara langsung.

Wawancara dengan beberapa Inspektur Keselamatan Nuklir juga dilakukan untuk mengetahui praktek pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi selama ini. Peneliti akan menggunakan pendekatan deskriptif dalam melakukan pembahasan usulan pelaksanaan inspeksi metode daring.

## HASIL PENELITIAN

### Tinjauan pustaka

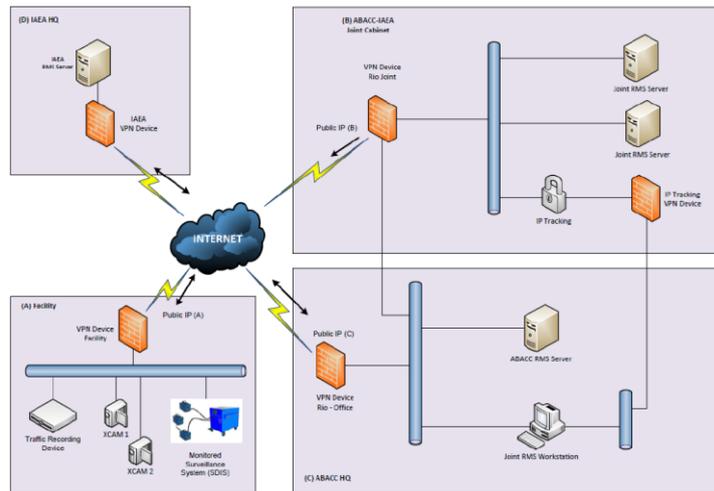
Berdasarkan tinjauan pustaka, metode pelaksanaan inspeksi jarak jauh pada bidang konstruksi sudah banyak dikembangkan dengan mengikuti perkembangan teknologi yang ada mulai dari penggunaan *handycam* yang dikoneksikan dengan internet (Jaselskis, Sankar, Yousif, Clark, & Chinta, 2015), menggunakan *drone* untuk memantau aspek keselamatan pekerja (Melo, Costa, Álvares, & Irizarry, 2017) sampai dengan memanfaatkan teknologi *intelligent camera* untuk mengetahui pelanggaran terkait persyaratan keselamatan (Guo, Li, Liang, & Tang, 2019). Hasil inspeksi keselamatan menunjukkan hasil yang memuaskan, dengan posisi inspektur keselamatan berada di kantor yang berjarak cukup jauh dari lokasi proyek tetapi tetap dapat melaksanakan tugasnya untuk mengamati kesesuaian penerapan standar keselamatan selama para pekerja melakukan tugasnya.

Pada bidang produksi obat, *Food and Drug Administration* (FDA) telah mengeluarkan panduan terkait dengan pelaksanaan inspeksi produksi obat. Inspeksi dilakukan secara daring dengan melakukan beberapa penyesuaian di lapangan terkait dengan persiapan penggunaan media daring, pelaksanaannya dan legal aspek terkait dengan hasil inspeksi (FDA, 2021). Sedangkan bidang fabrikasi juga sudah menggunakan teknologi robotik untuk membantu dalam proses inspeksi seperti yang dilakukan dalam inspeksi kecacatan lambung kapal (Poggi, Gaggero, Gaiotti, Ravina, & Rizzo, 2020). Penggunaan robot dapat membantu untuk menjangkau area inspeksi yang sulit dan berbahaya bagi inspektur apabila dilakukan secara tradisional.

Dari ketiga bidang tersebut, hal yang menjadi perhatian inspeksi daring adalah terkait dengan bagaimana pengumpulan, pemrosesan, analisa dan kerahasiaan datanya. Semua pemanfaatan teknologi yang digunakan dalam inspeksi daring ditujukan untuk meningkatkan keselamatan pekerja dan aset serta meningkatkan efisiensi pelaksanaan survey ataupun inspeksi karena inspektur keselamatan dapat melakukan tugasnya langsung dari kantor dengan tidak harus berkunjung ke lapangan (Wen, Pray, McSweeney, & Gu, 2019).

### Membandingkan dengan inspeksi *safeguard*

IAEA telah mengembangkan metode *Remote Monitoring System* (RMS) untuk pelaksanaan inspeksi *safeguard*. Metode RMS memiliki beberapa kelebihan diantaranya inspektur *safeguard* tidak perlu hadir di lokasi, mengurangi paparan radiasi yang diterima inspektur *safeguard* dan inspeksi *safeguard* tetap dapat dilaksanakan tanpa mengganggu jalannya proses produksi di fasilitas (Abedin-Zadeh & Whichello, 1998). Pelaksanaan inspeksi *safeguard* akan melihat seluruh proses yang dilakukan di fasilitas nuklir. Pendekatan *remote monitoring* dilakukan untuk dapat memantau akuntansi bahan nuklir secara *real time* dan tidak mengganggu proses fasilitas yang sedang berjalan. Salah satunya telah dilakukan uji coba komunikasi data di Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares antara – Brazilian Argentine Agency for Accounting and Control of Nuclear Materials (ABACC) dengan menggunakan 4 sistem yaitu simulator fasilitas, IAEA, ABACC dan Joint IAEA-ABACC. Dalam uji coba tersebut dikembangkan protokol untuk menguji keamanan transmisi data dengan mengatur hak akses. *Remote desktop* ke *workstation simulator* fasilitas hanya bisa dilakukan oleh Joint IAEA-ABACC, *remote desktop* ini dapat dioperasikan setelah mendapatkan izin dari IAEA, akses ke *workstation* fasilitas hanya bisa terlaksana apabila ABACC telah menyalakan komputer *workstation*. Skema ini dikenal sebagai hak akses simetris (Galdoz, 2011). Skema jaringan komunikasi dijelaskan pada gambar 2 berikut.



**Gambar 2. Diagram jaringan koneksi *Joint* IAEA-ABACC (Galdoz, 2011)**

Yang menjadi perhatian utama pada inspeksi *safeguard* dengan metode RMS yaitu terkait dengan proses komunikasi data, hak akses ke komputer fasilitas nuklir dari jarak jauh dan keamanan data.

### Studi kasus

Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (DPFRZR) telah melakukan verifikasi perizinan pada masa pandemi COVID-19. Verifikasi ini dilakukan pada fasilitas Radioterapi maupun Kedokteran Nuklir. Verifikasi ini tetap dilaksanakan karena kebutuhan RS dalam melayani pasien khususnya pelayanan terapi bagi para pasien kanker yang tidak dapat ditunda lagi walaupun dalam masa pandemi COVID-19. Verifikasi perizinan bertujuan untuk memastikan fasilitas, pesawat radioterapi, peralatan pendukung, SDM dan prosedur memenuhi persyaratan keselamatan radiasi bagi keselamatan pekerja, pasien, masyarakat dan lingkungan.

Sebelum masa pandemi COVID-19 verifikasi perizinan dilakukan dengan kunjungan lapangan ke fasilitas radioterapi di rumah sakit untuk memverifikasi persyaratan perizinan yang telah diajukan. Secara garis besar verifikasi perizinan dilaksanakan dalam tiga tahapan yaitu pembukaan dilanjutkan dengan verifikasi dokumen teknis, verifikasi lapangan dan terakhir penyampaian rekomendasi hasil verifikasi sekaligus penutupan.

Pada masa pandemi COVID-19 DPFRZR mencoba melakukan verifikasi perizinan dengan metode daring dan metode *blended* antara daring dengan kunjungan langsung. Dengan metode daring verifikasi perizinan tetap dapat dilaksanakan melalui aplikasi zoom tetapi terdapat kendala pada saat verifikasi peralatan dan secara keseluruhan proses verifikasi memakan waktu yang lebih lama. Kendala yang dialami dengan metode daring yaitu lemahnya sinyal internet di ruang radioterapi karena dinding ruangan menggunakan beton yang sangat tebal sehingga tidak bisa dilakukan verifikasi peralatan radioterapi secara langsung melalui video streaming. Solusi yang diterapkan pada saat itu dengan meminta pihak Petugas Proteksi Radiasi (PPR) fasilitas radioterapi untuk menyiapkan rekaman video yang menjelaskan peralatan radioterapi, peralatan keselamatan dan peralatan pendukungnya serta pengoperasian peralatan radioterapi.

Untuk metode *blended*, pendekatan yang dilakukan yaitu untuk pembukaan dan verifikasi dokumen teknis dilakukan secara daring sedangkan verifikasi lapangan dan penyampaian rekomendasi hasil verifikasi dilakukan secara langsung di fasilitas radioterapi rumah sakit. Dengan metode *blended* waktu yang diperlukan lebih cepat daripada metode daring secara penuh.

Dari pelaksanaan verifikasi yang telah dilakukan oleh DPFRZR yang menjadi perhatian utama yaitu terkait dengan kondisi sinyal internet di fasilitas dan prasarana

pendukung lainnya, kesiapan dokumen maupun rekaman dan kesiapan pihak PPR serta manajemen fasilitas terkait jadwal pelaksanaan inspeksi.

### **Wawancara**

Wawancara telah dilakukan dengan beberapa inspektur yang pernah melaksanakan inspeksi ke beberapa fasilitas pemanfaatan sumber radiasi pengion seperti iradiator, radiografi industri, *well logging*, *gauging*, radiologi diagnostik dan intervensional, radioterapi dan kedokteran nuklir. Inspeksi dilakukan pada fasilitas dengan resiko tinggi sampai dengan resiko rendah.

Berdasarkan hasil wawancara terkait pelaksanaan inspeksi yang dilakukan pada fasilitas dengan resiko tinggi seperti iradiator, radiografi industri, *well logging*, radioterapi dan kedokteran nuklir diketahui cenderung tertib dalam hal administrasi dan praktik proteksi radiasi. Namun untuk pelaksanaan inspeksi di fasilitas radiografi industri dan *well logging* sangat jarang bisa dilakukan pada saat pekerjaan radiasi berlangsung karena jadwal pekerjaan radiasi sangat tergantung dengan permintaan *client* yang tidak sinkron dengan jadwal pelaksanaan inspeksi dari BAPETEN sehingga inspeksi sebagian besar dilaksanakan di lokasi bunker tempat menyimpan sumber radioaktif.

Untuk pelaksanaan inspeksi di fasilitas dengan resiko sedang sampai rendah seperti *gauging* dan radiologi diagnostik intervensional masih banyak ditemukan ketidaksesuaian dalam administrasi dan tidak semua melaksanakan praktik proteksi radiasi dengan baik. Beberapa masih menjalankan prinsip yang penting izin terbit namun tidak mengetahui esensi dari terbitnya sebuah izin.

### **PEMBAHASAN**

Terdapat tujuh Indikator Keselamatan dan Keamanan (IKK) yang dinilai pada pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi (BAPETEN, 2017) seperti yang dijabarkan pada tabel 1. Ketujuh indikator tersebut berlaku untuk fasilitas industri maupun kesehatan dengan penyesuaian tingkat risiko dan persyaratan keselamatan dan keamanan pada masing-masing fasilitas. Untuk fasilitas yang tidak menggunakan zat radioaktif atau hanya menggunakan pembangkit radiasi pengion (x-ray) maka penilaian inspeksi terkait dengan aspek keamanan tidak dilakukan. Hasil dari penilaian IKK ini akan disampaikan pada akhir inspeksi dan akan diberikan stiker dengan warna hijau, kuning dan merah sesuai dengan hasil nilai IKK. Stiker ini merupakan salah satu bentuk komunikasi ke masyarakat umum bahwa fasilitas yang memanfaatkan zat radioaktif atau pembangkit radiasi pengion telah diawasi oleh Pemerintah dan pada stiker tersebut juga terdapat informasi apakah fasilitas tersebut dalam kondisi aman atau berbahaya.

Stiker hijau menjelaskan bahwa secara legal dan teknis fasilitas telah memenuhi seluruh persyaratan keselamatan dan keamanan. Fasilitas dengan beberapa kekurangan pada aspek dokumentasi dan aspek keselamatan dan keamanan tetapi tidak membahayakan pekerja dan masyarakat maka akan mendapatkan stiker kuning. Sedangkan fasilitas yang mendapatkan stiker merah berarti terdapat pelanggaran secara legal (tidak memiliki izin) atau tidak memenuhi persyaratan teknis terkait keselamatan dan keamanan sehingga berpotensi membahayakan pekerja, masyarakat atau lingkungan.

Secara garis besar prosedur pelaksanaan inspeksi dibagi menjadi tiga tahapan yaitu (1) pertemuan awal dilanjutkan dengan audit dokumen dan rekaman; (2) verifikasi lapangan; dan (3) ditutup dengan pertemuan akhir sekaligus penyampaian rekomendasi hasil inspeksi (BAPETEN, 2017). Dokumen dan rekaman yang akan diaudit di antaranya data perizinan, data SDM beserta kompetensi dan sertifikasi yang dimiliki, data dosis pekerja radiasi, data hasil pemeriksaan kesehatan, rekaman terkait dengan pelatihan pekerja, pemantauan paparan radiasi sampai dengan logbook perawatan dan perbaikan peralatan. Untuk verifikasi lapangan akan dilakukan pengukuran paparan radiasi di lokasi operator dan sekitar alat atau mesin yang menggunakan sumber radiasi pengion, verifikasi nomor seri sumber radiasi pengion yang digunakan dan verifikasi sistem keselamatan dan keamanan radiasi di lapangan.

**Tabel 1. Parameter Keselamatan dan Keamanan Inspeksi Fasilitas Radiasi (BAPETEN, 2017)**

No	Parameter IKK	Bobot
1	Kondisi Izin	30%
2	Ketersediaan Sumber Daya Manusia	25%
3	Pemantauan Dosis Radiasi	10%
4	Pemeriksaan Kesehatan Pekerja Radiasi	10%
5	Ketersediaan Peralatan Keselamatan dan Keamanan	10%
6	Pemantauan Paparan Radiasi Daerah Kerja oleh Fasilitas	10%
7	Ketersediaan dan Kesesuaian Dokumen dan Rekaman	5%

### Usulan Konsep inspeksi

Dalam proses inspeksi keselamatan secara langsung, pengamatan yang dilakukan di lapangan jarang dianalisis lebih dari satu kali, dan beberapa di antara hasil pengamatan diubah menjadi indikator kinerja untuk tujuan laporan manajemen (Wehbe, Hattab, & Hamzeh, 2016). Pada usulan konsep inspeksi keselamatan radiasi dengan metode daring diharapkan inspektur keselamatan radiasi dapat menganalisa kondisi keselamatan fasilitas lebih dari satu kali dari hasil rekaman video yang diterima sehingga hasil analisisnya menjadi lebih komprehensif dan dalam memberikan rekomendasi menjadi lebih akurat. Usulan konsep inspeksi metode daring ditujukan untuk beberapa Kelompok Kegiatan seperti yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko yaitu untuk fasilitas industri terdiri dari (1) irradiator; (2) uji tak rusak/radiografi industri; (3) well logging dan (4) gauging sedang untuk fasilitas kesehatan terdiri dari (5) radiologi diagnostik dan intervensional (RDI); (6) radioterapi dan (7) kedokteran nuklir.

### Irradiator

Fasilitas irradiator dengan risiko tinggi yang digunakan di Indonesia yaitu irradiator kategori II dengan pemercepat elektron dan irradiator kategori IV. Irradiator kategori II dengan pemercepat elektron yaitu fasilitas irradiator yang menggunakan berkas elektron atau sinar-x yang ditempatkan dalam ruangan berperisai radiasi dan daerah yang diradiasi dapat diakses secara terkendali. Fasilitas irradiator kategori II ini banyak digunakan untuk sterilisasi peralatan kesehatan. Sedangkan irradiator kategori IV yaitu fasilitas irradiator dengan sumber radioaktif terbungkus berada di dalam kolam air pada saat tidak dipergunakan dan akan keluar dari kolam air apabila akan dipergunakan untuk mengiradiasi suatu bahan dengan sistem kontrol dari ruang operator.

Berdasarkan data hasil inspeksi yang diperoleh dari [balis.bapeten.go.id](http://balis.bapeten.go.id) menunjukkan bahwa fasilitas-fasilitas irradiator yang setiap tahun diinspeksi selalu mendapatkan stiker hijau, yang menunjukkan bahwa fasilitas irradiator selalu memenuhi seluruh persyaratan keselamatan dan keamanan. Dan berdasarkan hasil wawancara dengan inspektur yang melakukan inspeksi di fasilitas irradiator menyebutkan bahwa dokumen dan rekaman berupa dokumen Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi, SOP, rekaman terkait dengan SDM, data dosis, data pemeriksaan kesehatan, data pengukuran paparan radiasi, logbook perbaikan dan perawatan peralatan sampai dengan logbook pengetesan sistem keselamatan dan keamanan selalu terisi lengkap dan diperbarui. Sehingga untuk pemeriksaan dokumen dan rekaman diusulkan menggunakan metode daring. Pelaksanaan metode daring bisa melalui mekanisme seluruh dokumen yang akan diaudit untuk dikirim terlebih dahulu ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau ditampilkan secara langsung pada saat pelaksanaan inspeksi secara daring.

Untuk verifikasi lapangan bisa dilakukan melalui daring. Namun karena ruang iradiasi terkungkung dengan beton yang sangat tebal sehingga sinyal internet tidak dapat

menjangkau sampai ke dalam ruang iradiasi maka sebaiknya fasilitas menyiapkan materi video terlebih dahulu yang menjelaskan proses pengukuran paparan radiasi di ruang operator, pengetesan sistem keselamatan dan keamanan sampai dengan pengukuran paparan radiasi di sekitar ruangan iradiasi. Video tersebut dapat dikirim terlebih dahulu ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau ditampilkan secara langsung pada saat pelaksanaan inspeksi secara daring. Namun untuk proses pengangkutan dan penggantian sumber radioaktif sebaiknya tidak dilakukan secara daring karena Inspektur harus memastikan bahwa pada proses dengan risiko tinggi semua prosedur terkait dengan keselamatan dan keamanan sumber radioaktif dijalankan dengan benar dan tidak ada pekerja dan masyarakat yang mendapatkan paparan radiasi berlebih.

Dan yang terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau onset pada pertemuan akhir sesi inspeksi. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

### **Uji tak rusak/radiografi industri**

Radiografi industri merupakan salah satu metode uji tak rusak yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan struktur atau kualitas bahan dengan memanfaatkan zat radioaktif atau pembangkit radiasi pengion (sinar-x) (BAPETEN, 2009c).

Data hasil inspeksi yang diperoleh dari [balis.bapeten.go.id](http://balis.bapeten.go.id) menunjukkan masih ada beberapa fasilitas radiografi yang mendapatkan stiker kuning yang berarti bahwa beberapa fasilitas masih belum memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan sepenuhnya, dan berdasarkan hasil wawancara dengan para inspektur yang melakukan inspeksi di fasilitas radiografi industri menyebutkan bahwa pelaksanaan inspeksi untuk fasilitas radiografi industri sangat jarang dilakukan pada saat pelaksanaan pekerjaan radiografi berlangsung. Sehingga inspeksi dilakukan di lokasi bunker yang digunakan untuk menyimpan peralatan radiografi pada saat tidak digunakan.

Untuk audit dokumen dan rekaman di fasilitas radiografi industri diusulkan menggunakan metode daring. Proses verifikasi dokumen dapat dilakukan dengan penyampaian seluruh dokumen dan rekaman dalam bentuk *softcopy* ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau mengunggah dokumen dan rekaman ke sistem penyimpanan cloud untuk kemudian dilakukan verifikasi secara langsung.

Pengukuran verifikasi lapangan diusulkan menggunakan metode daring terutama untuk pelaksanaan inspeksi di lokasi bunker karena sebagian besar sarana prasarana yang menunjang untuk daring dan peralatan surveymeter radiasi di lokasi bunker tersedia dan mencukupi. Namun untuk fasilitas yang memiliki riwayat hasil inspeksi dengan stiker kuning maka sebaiknya verifikasi lapangan dilakukan di tempat (*onset*). Hal ini untuk memastikan bahwa persyaratan keselamatan dan keamanan yang tertuang di dokumen dan rekaman bisa diverifikasi secara langsung di lapangan terkait dengan keberadaannya maupun fungsi kerjanya. Dan verifikasi langsung juga untuk memastikan bahwa di bunker tidak ada zat radioaktif yang tidak memiliki izin.

Untuk inspeksi pada saat pelaksanaan pekerjaan radiografi berlangsung yang sangat jarang bisa dilakukan karena jadwal pelaksanaan pekerjaan yang tidak tentu tergantung dengan permintaan dari *client* dan biasanya dilakukan pada malam hari, maka sebaiknya dilakukan dengan metode daring sehingga inspektur bisa melakukan penilaian penerapan proteksi radiasi di lapangan. Metode daring bisa dilakukan secara langsung pada saat pelaksanaan pekerjaan atau direkam dalam bentuk video kemudian disampaikan kepada inspektur.

Tahap terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau onset pada pertemuan akhir sesi inspeksi. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

### **Well logging**

*Well logging* banyak digunakan di pertambangan dan migas. Kegiatan *well logging* meliputi penurunan dan pengangkatan alat ukur atau alat yang mengandung zat radioaktif atau yang digunakan untuk mendeteksi zat radioaktif tersebut di dalam lubang bor untuk tujuan mendapatkan informasi lubang bor atau formasi geologi di sekitarnya dalam eksplorasi dan eksploitasi minyak, gas, panas bumi termasuk *geophysical logging* untuk mineral dan batu bara (BAPETEN, 2009a). Seperti pada fasilitas radiografi industri bahwa berdasarkan data hasil inspeksi yang diperoleh dari balis.bapeten.go.id masih ada beberapa fasilitas *well logging* yang mendapatkan stiker kuning dan berdasarkan hasil wawancara dengan para inspektur yang melakukan inspeksi pada fasilitas *well logging* menyebutkan bahwa sangat jarang bisa dilakukan inspeksi keselamatan radiasi pada saat pekerjaan *well logging* berlangsung karena jadwal pekerjaan *well logging* yang tidak menentu sedangkan jadwal inspeksi sudah diatur selama satu tahun sebelumnya. Sehingga pelaksanaan inspeksi *well logging* dilakukan di kantor pusat atau di lokasi bunker yang digunakan untuk menyimpan zat radioaktif dan peralatan pendukung lainnya.

Untuk audit dokumen dan rekaman di fasilitas *well logging* diusulkan menggunakan metode daring. Proses verifikasi dokumen dapat dilakukan dengan penyampaian seluruh dokumen dan rekaman dalam bentuk *softcopy* ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau mengunggah dokumen dan rekaman ke sistem penyimpanan cloud untuk kemudian dilakukan verifikasi secara langsung.

Verifikasi lapangan diusulkan menggunakan metode daring terutama untuk pelaksanaan inspeksi di lokasi bunker karena sebagian besar sarana prasarana yang menunjang untuk daring dan peralatan surveymeter radiasi di lokasi bunker tersedia dan mencukupi. Dan sistem cctv di ruang bunker bisa digunakan untuk menilai praktek proteksi radiasi yang diterapkan para pekerja. Namun untuk fasilitas yang memiliki riwayat hasil inspeksi dengan stiker kuning maka sebaiknya pengukuran paparan radiasi dan verifikasi dilakukan di tempat (*onset*). Hal ini untuk memastikan bahwa persyaratan keselamatan dan keamanan yang tertuang di dokumen dan rekaman bisa diverifikasi secara langsung di lapangan terkait dengan keberadaannya maupun fungsi kerjanya.

Untuk inspeksi pada saat pelaksanaan pekerjaan *well logging* yang sangat jarang bisa dilakukan, maka sebaiknya dilakukan dengan metode daring sehingga inspektur bisa melakukan penilaian penerapan proteksi radiasi di lapangan. Metode daring bisa dilakukan secara langsung pada saat pelaksanaan pekerjaan atau direkam dalam bentuk video kemudian disampaikan kepada inspektur.

Tahap terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau onset pada pertemuan akhir sesi inspeksi. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

### **Gauging**

Gauging merupakan salah satu teknik pengukuran yang memanfaatkan aplikasi teknik nuklir untuk mengukur ketebalan, ketinggian, densitas, sebagai kendali mutu atau proses produk (BAPETEN, 2009b). Gauging memiliki banyak bentuk dan model dalam aplikasi di lapangan serta risiko yang beragam dari rendah sampai tinggi. Data hasil inspeksi fasilitas gauging yang diambil dari balis.bapeten.go.id masih ada fasilitas yang mendapatkan stiker merah dan berdasarkan hasil wawancara dengan para inspektur yang melaksanakan inspeksi di fasilitas gauging menyebutkan bahwa sebagian besar fasilitas gauging cukup rapi terkait dengan dokumen dan rekaman tetapi beberapa masih menggunakan peralatan pembangkit radiasi pengion (sinar-x) tanpa memiliki izin karena peralatan gauging sebelumnya rusak atau sudah habis masa operasinya dan menggantinya dengan peralatan gauging yang baru tanpa mengajukan izin baru bahkan terdapat fasilitas gauging dalam kondisi pailit sehingga zat radioaktif yang digunakan menjadi terbengkalai dan berpotensi terjadinya kontaminasi ke lingkungan ataupun paparan radiasi yang tidak diinginkan pada masyarakat.

Untuk audit dokumen dan rekaman di fasilitas gauging diusulkan menggunakan metode daring. Proses verifikasi dokumen dapat dilakukan dengan penyampaian seluruh dokumen dan rekaman dalam bentuk *softcopy* ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau mengunggah dokumen dan rekaman ke sistem penyimpanan *cloud* untuk kemudian dilakukan verifikasi secara langsung.

Verifikasi lapangan pada fasilitas gauging diusulkan menggunakan metode daring terutama untuk fasilitas dengan risiko rendah dan rekam jejak hasil inspeksi dengan stiker hijau. Untuk fasilitas gauging dengan risiko tinggi dan rekam jejak inspeksi dengan stiker hijau juga diusulkan menggunakan metode daring. Pengukuran paparan radiasi, verifikasi tipe dan nomor sumber radiasi pengion, verifikasi peralatan pendukung keselamatan dan keamanan serta praktek proteksi radiasi dapat dilakukan secara *real time* menggunakan perangkat kamera atau handphone. Sedangkan pengukuran paparan radiasi dan verifikasi lapangan untuk fasilitas gauging dengan rekam jejak inspeksi dengan stiker merah tetap dilakukan di tempat (onset).

Tahap terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau onset pada pertemuan akhir sesi inspeksi. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

### **Radiologi diagnostik dan intervensional**

Radiologi diagnostik merupakan kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan fasilitas untuk keperluan diagnostik sedangkan radiologi intervensional merupakan terapi dalam tubuh pasien melalui bagian luar tubuh dengan kawat penuntun, stent dan lain-lain dengan menggunakan sinar-x (BAPETEN, 2011). Data hasil inspeksi fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensial (RDI) yang diambil dari [balis.bapeten.go.id](http://balis.bapeten.go.id) masih terdapat beberapa fasilitas yang mendapatkan stiker kuning dan merah. Dan berdasarkan hasil wawancara dengan inspektur yang melakukan inspeksi ke fasilitas RDI menyebutkan bahwa penilaian mandiri yang dilakukan dengan pengisian Laporan Keselamatan Fasilitas (LKF) masih belum sepenuhnya dilakukan oleh beberapa fasilitas karena lokasinya yang jauh dari kota besar sehingga akses internet sangat terbatas, terdapat fasilitas dengan ruangan radiologi yang tidak sesuai standar keselamatan sehingga paparan radiasi di luar ruangan melebihi batas yang sudah ditentukan bahkan terdapat fasilitas yang memiliki dan menggunakan pesawat sinar-x tanpa memiliki izin pemanfaatan dari BAPETEN.

Untuk audit dokumen dan rekaman di fasilitas RDI diusulkan menggunakan metode daring dengan catatan bahwa fasilitas memiliki sarana prasarana yang mendukung daring dan memiliki rekam jejak hasil inspeksi dengan stiker warna hijau. Proses verifikasi dokumen dapat dilakukan dengan penyampaian seluruh dokumen dan rekaman dalam bentuk *softcopy* ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau mengunggah dokumen dan rekaman ke sistem penyimpanan *cloud* untuk kemudian dilakukan verifikasi secara langsung. Untuk fasilitas RDI dengan rekam jejak hasil inspeksi dengan stiker kuning atau merah maka sebaiknya tetap dilakukan inspeksi onset untuk benar-benar memastikan dokumen dan rekaman sesuai dengan kondisi di lapangan.

Verifikasi lapangan pada fasilitas RDI tetap dilakukan dengan inspeksi onset karena fasilitas tidak memiliki surveymeter radiasi dan untuk memastikan tidak ada pesawat sinar-x yang tidak memiliki izin pemanfaatan.

Tahap terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau dilakukan onset bagi fasilitas yang terbatas sarana prasarana untuk daring. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

### **Radioterapi**

Radioterapi merupakan modalitas pengobatan dengan menggunakan zat radioaktif terbungkus dan atau pembangkit radiasi pengion. Zat radioaktif yang digunakan berbentuk padat yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat sedangkan

pembangkit radiasi pengion dapat berupa pesawat sinar-x dan pemercepat berkas radiasi yang memancarkan gelombang elektromagnetik atau partikel berupa akselerator (BAPETEN, 2013).

Berdasarkan data hasil inspeksi fasilitas radioterapi yang diambil dari [balis.bapeten.go.id](http://balis.bapeten.go.id) semua fasilitas mendapatkan stiker warna hijau yang berarti bahwa semua persyaratan keselamatan dan keamanan terpenuhi. Dan berdasarkan hasil wawancara dengan inspektur yang melakukan inspeksi ke fasilitas radioterapi menyebutkan hampir seluruh fasilitas radioterapi menerapkan prinsip proteksi radiasi dengan baik. Sehingga untuk pemeriksaan dokumen dan rekaman diusulkan menggunakan metode daring. Pelaksanaan metode daring bisa melalui mekanisme seluruh dokumen yang akan diaudit untuk dikirim terlebih dahulu ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau ditampilkan secara langsung pada saat pelaksanaan inspeksi secara daring.

Verifikasi lapangan pada fasilitas radioterapi dapat dilakukan secara daring ataupun onset. Pelaksanaan secara daring membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan onset berdasarkan kegiatan verifikasi perizinan yang pernah dilakukan oleh DPFRZR. Pelaksanaan verifikasi lapangan fasilitas radioterapi membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan fasilitas RDI karena item yang harus diperiksa lebih banyak dan lebih kompleks. Sehingga diusulkan verifikasi lapangan untuk fasilitas radioterapi dilaksanakan secara onset.

Tahap terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau onset pada pertemuan akhir sesi inspeksi. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

### **Kedokteran Nuklir**

Kedokteran nuklir merupakan kegiatan pelayanan kedokteran spesialisik yang menggunakan sumber radioaktif terbuka dari disintegrasi inti berupa radionuklida dan atau radiofarmaka untuk tujuan diagnostik, terapi dan penelitian medik klinik, yang berdasarkan pada proses fisiologi, patofisiologi dan metabolisme (BAPETEN, 2012).

Berdasarkan data hasil inspeksi fasilitas kedokteran nuklir yang diambil dari [balis.bapeten.go.id](http://balis.bapeten.go.id) bahwa semua fasilitas mendapatkan stiker warna hijau yang berarti semua persyaratan keselamatan dan keamanan terpenuhi. Dan berdasarkan hasil wawancara dengan inspektur yang melakukan inspeksi ke fasilitas kedokteran nuklir menyebutkan seluruh fasilitas kedokteran nuklir menerapkan prinsip proteksi radiasi dengan baik. Sehingga untuk pemeriksaan dokumen dan rekaman diusulkan menggunakan metode daring. Pelaksanaan metode daring bisa melalui mekanisme seluruh dokumen yang akan diaudit untuk dikirim terlebih dahulu ke Tim Inspeksi yang akan melakukan inspeksi atau ditampilkan secara langsung pada saat pelaksanaan inspeksi secara daring.

Verifikasi lapangan pada fasilitas kedokteran nuklir diusulkan secara onset karena pada inspeksi fasilitas kedokteran nuklir terdapat tahapan pengukuran tingkat kontaminasi dan verifikasi pengelolaan limbah radioaktif.

Tahap terakhir terkait dengan penyampaian hasil dan rekomendasi inspeksi dilakukan secara daring atau onset pada pertemuan akhir sesi inspeksi. Setelah rangkaian inspeksi selesai maka harus segera dibuat surat pemberitahuan hasil inspeksi secara resmi yang ditandatangani oleh Direktur Inspeksi.

**Tabel 2. Rekapitulasi Usulan Metode Inspeksi pada Fasilitas Industri dan Kesehatan**

Fasilitas	Usulan metode inspeksi						
	Izin	SDM	Dosis Pekerja	Kesehatan Pekerja	Peralatan Keselamatan dan Keamanan	Pengukuran Paparan Radiasi	Dokumen dan Rekaman
Iradiator	Daring	Daring	Daring	Daring	Daring atau onset	Daring atau onset	Daring atau onset
Uji Tak Rusak	Daring	Daring	Daring	Daring	Daring atau onset	Daring atau onset	Daring atau onset
Well Logging	Daring	Daring	Daring	Daring	Daring atau onset	Daring atau onset	Daring atau onset
Gauging	Daring	Daring	Daring	Daring	Daring atau onset	Daring atau onset	Daring atau onset
Radiologi diagnostik dan intervensional	Daring atau onset	Daring atau onset	Daring atau onset	Daring atau onset	Onset	Onset	Daring atau onset
Radioterapi	Daring	Daring	Daring	Daring	Onset	Onset	Daring atau onset
Kedokteran Nuklir	Daring	Daring	Daring	Daring	Onset	Onset	Daring atau onset

## SIMPULAN

Pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi secara daring dapat menjawab tantangan terkait dengan keterbatasan SDM inspektur dan lokasi pemanfaatan sumber radiasi pengion yang tersebar tidak merata di seluruh Indonesia. Inspeksi keselamatan radiasi dengan metode daring juga menjadi jawaban dari tantangan pelaksanaan inspeksi selama masa pandemi COVID-19. Inspeksi daring tidak bisa langsung diterapkan pada semua tahapan inspeksi karena harus disesuaikan dengan tingkat risiko paparan radiasi, rekam jejak inspeksi sebelumnya dan sarana prasarana penunjang daring.

Inspeksi keselamatan radiasi dengan metode daring dapat menjadi masukan untuk pembaruan prosedur pelaksanaan inspeksi terutama dalam hal mekanisme pelaksanaan inspeksi. Untuk pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi di fasilitas dengan risiko rendah dan memiliki rekam jejak inspeksi yang baik bisa dilaksanakan secara daring penuh tetapi untuk fasilitas yang memiliki rekam jejak inspeksi buruk bisa dilaksanakan secara daring untuk verifikasi terkait administrasinya dan dilaksanakan secara langsung (onsite) untuk verifikasi terkait teknis proteksi radiasi seperti pengukuran paparan radiasi dan peralatan keselamatan dan keamanan. Untuk pelaksanaan inspeksi keselamatan radiasi di fasilitas dengan risiko tinggi menggunakan pendekatan gabungan antara daring dan onsite, metode daring digunakan untuk verifikasi administrasi dan dokumentasi sedangkan metode onsite digunakan untuk verifikasi terkait dengan teknis proteksi radiasi dan sistem keamanan.

## Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Program Beasiswa Dalam Negeri Saintek 2020 yang telah memfasilitasi dan memberikan kesempatan kepada peneliti untuk melakukan kajian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abedin-Zadeh, R., & Whichello, J. (1998). *Remote and unattended monitoring techniques*. Retrieved from International Atomic Energy Agency (IAEA): [http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:30050976](http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:30050976)
- BAPETEN. (2009a). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Zat Radioaktif untuk Well Logging*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- BAPETEN. (2009b). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Zat Radioaktif dan Pesawat Sinar-x untuk Peralatan Gauging*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- BAPETEN. (2009c). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- BAPETEN. (2011). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-x Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- BAPETEN. (2012). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- BAPETEN. (2013). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- BAPETEN. (2017). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Inspeksi dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Jakarta: Dirjen Peraturan Perundang-undangan Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia
- BHKKP/pd. (2019). BAPETEN Mulai Kembangkan Inspeksi Partisipatif. Retrieved from <https://www.bapeten.go.id/berita/bapeten-mulai-kembangkan-inspeksi-partisipatif-152918>
- FDA. (2021). *Remote Interactive Evaluation of Drug Manufacturing and Bioresearch Monitoring Facilities During the COVID-19 Public Health Emergency*. (FDA-2020-D-1136). Silver Spring: FDA
- Galdoz, E. C., O.; Fernández Moreno, S.; Llacer, C.; Díaz, G.D.; Vigile, S. and Brunhuber, C. (2011). *Remote Monitoring in Safeguards: Security of Information and Enhanced Cooperation*. Paper presented at the INMM 52nd Annual Meeting, Palm Desert California.
- Guo, S., Li, J., Liang, K., & Tang, B. (2019). Improved safety checklist analysis approach using intelligent video surveillance in the construction industry: a case study. *International journal of occupational safety and ergonomics : JOSE*, 1-12. doi:10.1080/10803548.2019.1685781
- Huda, K. (2021). Dilematika dan Tantangan Pengawasan Nuklir di Masa Pandemi COVID-19. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 1. doi:DOI : 10.53862/jupeten.v1i1.002
- IAEA. (1997). *Sampling, Storage and Sample Preparation Procedures for X ray Fluorescence Analysis of Environmental Materials*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- IAEA. (2005). *Radiation Oncology Physics*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- IAEA. (2010). *Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.

- IAEA. (2020a). *Impact of COVID-19 Pandemic on the Regulatory Activities for the Safety of Radiation Source*. Retrieved from [https://www.iaea.org/sites/default/files/20/09/covid19\\_nsrw\\_report\\_123\\_countries.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/20/09/covid19_nsrw_report_123_countries.pdf)
- IAEA. (2020b). *An Introduction to Practical Industrial Tomography Techniques for Non-destructive Testing (NDT)*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- IAEA. (2020c). *Radiation Safety in Well Logging*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- Indonesia, R. (1997). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*. Jakarta: Kementerian Negara Sekretaris Negara
- Indonesia, R. (2020). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2020 tentang Pembatasan Sosial Berskala Besar dalam Rangka Percepatan Penanganan Corona Virus Disease 2019 (COVID-19)*. Jakarta: Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia
- Jaselskis, E., Sankar, A., Yousif, A., Clark, B., & Chinta, V. (2015). Using Telepresence for Real-Time Monitoring of Construction Operations. *Journal of Management in Engineering*, 31(1), A4014011. doi:doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000336
- Kemdagri. (2021). *Instruksi Menteri Dalam Negeri Nomor 01 Tahun 2021 tentang Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan untuk Pengendalian Penyebaran Corona Virus Disease 2019 (COVID-19)*. Jakarta: Kementerian Dalam Negeri
- Melo, R. R. S. d., Costa, D. B., Álvares, J. S., & Irizarry, J. (2017). Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. *Safety Science*, 98, 174-185. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008>
- Poggi, L., Gaggero, T., Gaiotti, M., Ravina, E., & Rizzo, C. M. (2020). Recent developments in remote inspections of ship structures. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 12, 881-891. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iinaoe.2020.09.001>
- Wehbe, F., Hattab, M. A., & Hamzeh, F. (2016). Exploring associations between resilience and construction safety performance in safety networks. *Safety Science*, 82, 338-351. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.006>
- Wen, F., Pray, J., McSweeney, K., & Gu, H. (2019). *Emerging Inspection Technologies – Enabling Remote Surveys/Inspections*. Paper presented at the Offshore Technology Conference.
- World-Nuclear-Association. (2021). The Many Uses of Nuclear Technology. Retrieved from <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/overview/the-many-uses-of-nuclear-technology.aspx>