

Implementasi Penerapan *Safety Patrol* dalam Meminimalisir Bahaya di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy

The Implementation of Safety Patrol for Reduced Hazard's at G.A. Siwabessy Multi-Purpose Reactor Installation

Randy Afrizal^{1*}, Yuri Delano Regent Montororing², Rifda Ilahy Rosihan³

^{1,2,3}Teknik Industri, Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Bekasi Utara, Indonesia

* Penulis korespondensi: randyafrizal@gmail.com

Abstrak

Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy, dengan daya maksimum 30 MW, bergerak di bidang energi nuklir dan memiliki fasilitas penelitian dan pengujian. Reaktor ini memiliki potensi bahaya kecelakaan kerja akibat perilaku tidak aman dan kondisi tidak aman. Penelitian ini menerapkan proses baru patroli keselamatan untuk mengukur sikap dan perilaku pekerja menggunakan DMADV dan HIRARC untuk identifikasi dan mengendalikan potensi bahaya. Hasil penelitian menunjukkan 51% sesuai pekerja mematuhi penggunaan APD, 45% tidak sesuai mematuhi penggunaan APD, dan 4% tidak menggunakan APD. Potensi dan tindakan pekerja 71% sesuai pekerja dalam bertindak, 29% tidak sesuai dalam bertindak. Peralatan kerja 100% sesuai penggunaannya. Housekeeping 89% sesuai melakukan penerapan, dan 11% tidak sesuai penerapan 5R. Otoritas kerja 100% sesuai memberikan kewenangan. Jenis potensi bahaya yang teridentifikasi meliputi bahaya fisik, mekanik, kimia, elektrik, dan ergonomi, dengan pengendalian meliputi substitusi, pengendalian rekayasa, pengendalian administratif, alat pelindung diri, dan proteksi radiasi. Temuan dalam penelitian adalah merancang robot kendali jarak jauh.

Kata kunci: DMADV, Energi Nuklir, HIRARC, Patroli Keselamatan

Abstract

Multi-Purpose Reactor G.A.Siwabessy, with a maximum power of 30 MW, is engaged in nuclear energy and has research and testing facilities. This reactor has the potential for work accident hazards due to unsafe actions and unsafe conditions. This study applies a new process of safety patrols to assess worker attitudes and behaviors using DMADV and HIRARC to identify and control potential hazards. The results of the study showed that 51% of workers complied with the use of PPE, 45% did not comply with the use of PPE, and 4% did not use PPE. The potential and actions of workers are 71% in accordance with the worker's action, 29% are not in accordance with the action. The work equipment is 100% according to its use. Housekeeping is 89% in accordance with the implementation, and 11% is not in accordance with the implementation of 5R. The work authority is 100% appropriate to give authority. The types of potential hazards identified include physical, mechanical, chemical, electrical, and ergonomic hazards, with controls including substitution, engineering controls, administrative controls, personal protective equipments, and radiation protections. The findings in the study were to design a remote-controlled robot.

Keywords: DMADV, HIRARC, Nuclear Energy, Safety Patrol

1. Pendahuluan

Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (IRSG-GAS), yang terletak di Kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong dan dioperasikan oleh Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK), merupakan fasilitas yang bergerak di bidang energi nuklir dengan fokus pada penelitian dan pengujian diberbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, termasuk layanan iradiasi untuk pengujian material dan produk radioisotop. Reaktor ini beroperasi dengan daya maksimum 30 MW dan jenis fisi termal juga memiliki bahaya radiasi, lepasan zat radioaktif, dan kontaminasi yang tidak bisa dihindarkan (Kuntoro, 2023). Setiap lingkungan kerja, reaktor ini memiliki risiko bahaya yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja atau penyakit akibat kerja terkait dengan pekerjaan. Kecelakaan kerja adalah suatu kejadian atau peristiwa yang tidak diinginkan manusia yang merugikan terhadap manusia, merusak harta benda atau kerugian (Wahyuningsih et al., 2021) yang

disebabkan *unsafe condition* dan *unsafe action*, baik secara langsung atau tidak langsung dan tidak diharapkan serta dapat menimpa siapapun yang berada di lingkungan kerja, termasuk pekerja, pengusaha, bahkan pengunjung lingkungan kerja (Suma'mur, 2013).

Tingginya angka kecelakaan kerja di lingkungan kerja pada sektor energi Indonesia, dengan 8917 kasus pada tahun 2019, 9613 kasus pada tahun 2020, dan 10214 kasus pada tahun 2021 (Kemnaker, 2022), kecelakaan kerja sektor ketenaganukliraaan dapat terjadinya karena Perilaku *unsafe action* atau kesalahan yang dilakukan pekerja yang dapat mengakibatkan cedera, seperti melanggar standar operasional prosedur (SOP) dalam hal keselamatan dan prosedur keamanan (Putra et al., 2020), analisis bahaya yang tidak tepat, kegagalan regulasi (Kawano, 2020) mengabaikan penggunaan alat pelindung diri, serta bekerja dengan tergesa-gesa yang mengesampingkan kehati-hatian. Sedangkan, perilaku *unsafe condition* menciptakan kondisi yang tidak aman dan tidak nyaman bagi pekerja kondisi lingkungan kerja (Kawano, 2020; Suhma, Marchianti and Ma'rufi, 2021), hal tersebut menunjukkan perlunya peran yang lebih besar sistem manajemen keselamatan dan melengkapi kerangka kerja yang mencakup perencanaan, pengendalian, dan pengawasan semua aktivitas terkait keselamatan (IAEA, 2009) untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dan menciptakan lingkungan kerja yang aman, produktif, dana efisien melalui program manajemen keselamatan, yang terencana, terukur, terstruktur, dan terintergrasi.

Program inspeksi adalah metode terbaik untuk mengidentifikasi menemukan masalah, menilai risiko kerugian, kecelakaan kerja, serta penyakit akibat kerja yang mungkin terjadi (Putra, 2017), dengan melakukan *safety patrol*. *Safety patrol* merupakan kegiatan patroli lapangan untuk melakukan pengawasan kepada setiap pekerja ataupun keadaan dalam penerapan K3 dalam melakukan pekerjaan dan tidak sesuai dengan prosedur yang ada serta temuan tersebut akan dicatat untuk perbaikan atau evaluasi untuk meminimalisir bahaya (Yusabiran, Rumambi and Wirdana, 2020; Yustiarini and Asikin, 2021; Sari et al., 2023).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian sikap dan perilaku dalam melaksanakan kegiatan, mengetahui jenis bahaya kecelakaan kerja yang teridentifikasi, dan penerapan pengendalian yang telah diterapkan dengan jenis potensi bahaya yang teridentifikasi, serta rekomendasi pengendalian terhadap ketidaksesuaian. Dengan demikian, diharapkan dapat dilakukan evaluasi terhadap penerapan K3 serta pendekatan yang tepat untuk kegiatan di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy secara optimal dan menyeluruh.

2. Metode

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif yang menggunakan pendekatan secara kuantitatif dan kualitatif. Dalam penelitian ini, diterapkan metode DMADV (*define, measure, analyze, design, verify*), yang merupakan sistem strategi perbaikan untuk mengembangkan proses, layanan, dan produk baru (Pendokhare, 2015; Baptista et al., 2020; Montororing, Widyantoro and Muhazir, 2022; Kadir, Amar and Asmal, 2024) dengan tujuan menghasilkan *output* yang lebih efektif dan berkualitas (Bañuelas and Antony, 2003). Metode ini melibatkan beberapa fase, antara lain:

1) *Define*

Fase *define*, dilakukan pendefinisian masalah terkait bahaya yang terjadi serta sumber kecelakaan kerja yang memerlukan perbaikan untuk meningkatkan pengendalian. Dengan mengetahui statistik kecelakaan kerja di sektor energi di Indonesia, ditemukan adanya perilaku *unsafe action* dan *unsafe condition*. Setelah mengidentifikasi kedua aspek tersebut, ditentukanlah *critical to quality*.

2) *Measure*

Fase *measure*, melibatkan data yang terkumpul dari proses pelaksanaan *safety patrol* menggunakan teknik persentase dan *hazard identification, risk assessment, risk control* (HIRARC) untuk menentukan kondisi awal, sebagai berikut:

a) Teknik Persentase

Teknik persentase digunakan untuk mengukur gambaran sikap dan perilaku pekerja melalui *safety patrol* menggunakan lembar observasi. Teknik ini melibatkan penilaian terhadap lima indikator utama: alat pelindung diri, potensi dan tindakan pekerja, peralatan kerja, *housekeeping*, dan otoritas kerja. Rumus yang digunakan terlihat sebagai berikut (Singarimbun and Effendi, 1981; Arikunto, 2021):

$$P = \frac{M}{N} \times 100\% \quad (1)$$

Setelah data menjadi persentase, nilai-nilai tersebut kemudian ke dalam kriteria penilaian skor yang terlihat pada Tabel 1 sesuai dengan yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Kriteria Penilaian Skor

Persentase (%)	Keterangan
0	Tidak ada
1 – 39	Sebagian kecil
40 – 49	Kurang dari setengahnya
50	Setengahnya
51 – 75	Lebih dari setengahnya
76 – 99	Sebagian besar
100	Seluruhnya

b) *Hazard Identification, Risk Assessment, Risk Control* (HIRARC)

HIRARC merupakan elemen pokok dalam sistem manajemen keselamatan terdiri dari *hazard identification* yang dapat terjadi pada seluruh kegiatan, kemudian dilakukan *risk assessment* terhadap risiko yang dapat terjadi dari bahaya yang teridentifikasi, lalu membuat *risk control* agar dapat meminimalisir tingkat bahaya (Timothy and Widiawan, 2022; Giovanni, Fathimahhayati and Pawitra, 2023).

(1) *Hazard Identification*

Hazard Identification menemukan potensi bahaya yang terdapat dalam suatu tahapan pokok kegiatan, dilakukan dengan cara menentukan kegiatan tersebut kemudian dianalisis masing-masing bahaya yang muncul dari setiap kegiatan pokok melalui *safety patrol*.

(2) *Risk Assessment*

Risk assessment dilakukan melalui *safety patrol* dengan menganalisis risiko melalui penggabungan antara peluang (sebagai bentuk kuantitatif dari faktor ketidakpastian) dan konsekuensi dari terjadinya suatu bahaya risiko menggunakan dokumen standar. Standar tersebut mempertimbangkan jenis kegiatan, baik rutin maupun *non-rutin*, serta tiga aspek konsekuensi yang mungkin terjadi di lingkungan kerja yaitu; dampak terhadap personal, penerimaan dosis radiasi personal, dan kerugian asset.

Tabel 2. Skala Peluang Terjadinya Risiko

Skala	Sifat	
	Rutin	Non-rutin
1	Secara teori bisa terjadi, tetapi belum pernah mengalami atau pernah mendengarnya terjadi	Secara teori bisa terjadi, tetapi yakin tidak ada terjadi selama pekerjaan berlangsung
2	Pernah terjadi 1 kali pada suatu waktu yang tidak diketahui pasti, di atas 5 tahun	Bisa terjadi tetapi sangat kecil kemungkinan akan terjadi 1 kali selama pekerjaan berlangsung
3	Pernah terjadi dalam waktu 5 tahun terakhir	Bisa terjadi paling banyak 1 kali selama pekerjaan berlangsung
4	Pernah terjadi dalam waktu 3 tahun terakhir	Bisa terjadi 2 - 3 kali selama pekerjaan berlangsung
5	Pernah terjadi dalam waktu 1 tahun terakhir	Bisa terjadi lebih dari 3 kali selama pekerjaan berlangsung

Tabel 3. Penentuan Skala Konsekuensi

Skala	Dampak K3 (K ₁)	Penerimaan Dosis Individu (d) (K ₂)	Kerugian Finansial (f) (K ₃)
1	Tindakan P3K	$d < 25\%$ Pembatas Dosis Unit Kerja	$f < 5\%$
2	Perawatan Medis	25% Pembatas Dosis Unit Kerja $< d \leq 50\%$ Pembatas Dosis Unit Kerja	$5\% \leq f < 15\%$
3	Cacat Permanen 1 Orang	50% Pembatas Dosis Unit Kerja $< d \leq 75\%$ Pembatas Dosis Unit Kerja	$15\% \leq f < 30\%$
4	Kematian 1 Orang/atau Cacat Permanen > 1 Orang	75% Pembatas Dosis Unit Kerja $< d \leq mSV$	$15\% \leq f < 30\%$
5	Kematian Lebih dari 1 Orang	$d \geq 20$ mSV per tahun	$f \geq 50\%$

Meskipun konsekuensi mempertimbangkan tiga aspek menjadi K₁, K₂, dan K₃ seperti pada Tabel 3, konsekuensi yang digunakan dalam perhitungan risiko adalah konsekuensi dengan nilai yang tertinggi.

$$R = P \times K_{\text{tertinggi}} \quad (2)$$

Dengan,

R = Risiko

P = Peluang

K_{tertinggi} = Nilai Konsekuensi Tertinggi

Tabel 4. Pemingkatan Risiko

Peringkat	Skala Risiko	Tindakan
A	1 - 5	Risiko dapat diterima, langkah pengendalian dinilai efektif
B	6 - 10	Risiko dapat diterima, perlu dilakukan pengawasan/supervisi
C	11 - 15	Risiko belum dapat diterima, perlu dilakukan tindakan pengendalian tambahan
D	16 - 20	Risiko tidak dapat diterima, harus dilakukan pengendalian yang diprioritaskan
E	21 - 25	Risiko sangat tidak dapat diterima harus dilakukan tindakan pengendalian segera

Setelah nilai bahaya risiko diperoleh, evaluasi dengan tingkat risiko pada Tabel 4, apakah bahaya dapat diterima atau perlu dilakukan tindakan pengendalian tambahan.

(3) Risk Control

Risk Control yang sudah dilakukan atau diterapkan: terhadap tingkat risiko yang tidak dapat diterima (*unacceptable risk*) sehingga mencapai tingkat risiko yang dapat diterima (*acceptable risk*). Hirarki pengendalian risiko mengacu langkah berikut:



Gambar 1. Hirarki Risk Control

3) Analyze

Fase *analyze*, menyusun analisa kondisi awal untuk mengidentifikasi akar permasalahan yang terjadi. Pada fase ini, digunakan *fishbone* diagram dan diagram hubungan untuk mendukung proses analisa dan permasalahan yang terjadi serta mendapatkan fokus rekomendasi perbaikan mengenai peningkatan pengendalian.

4) *Design*

Fase *design*, direkomendasikan desain perbaikan pengendalian untuk menyelesaikan akar permasalahan yang telah diidentifikasi. Perbaikan pengendalian ini berupa sistem kendali untuk kegiatan yang berlangsung.

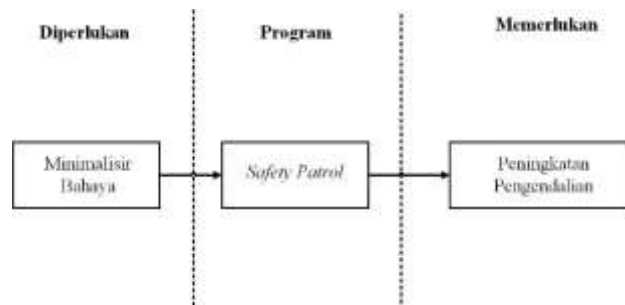
5) *Verify*

Fase *verify*, melakukan verifikasi berdasarkan rekomendasi perbaikan yang telah ditetapkan sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Define

Fase *define* dilakukan dengan terdapat peningkatan data statistik kecelakaan kerja di sektor energi Indonesia, serta terdapat perilaku *unsafe action* dan *unsafe condition*, dan diperlukan program *safety patrol*.



Gambar 2. *Critical to Quality*

Proses program pelaksanaan *safety patrol* dilakukan secara rutin pada hari kerja di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dan Gedung Bantu untuk mengukur sikap dan perilaku pekerja terhadap kegiatan yang dilakukan, mengidentifikasi potensi bahaya dan penyakit akibat kerja dari setiap kegiatan tersebut serta meningkatkan pengendalian keselamatan kerja. Tahapan proses pelaksanaan *safety patrol* meliputi, persiapan, *safety patrol*, komunikasi, pencatatan, dan evaluasi/perbaikan.

1) *Persiapan*

Persiapan untuk menjalankan *safety patrol* melibatkan untuk memastikan perlengkapan yang akan dibawa selama pelaksanaan. *Safety patrol* wajib membawa perlengkapan, sebagai berikut:

- Kamera;
- Lembar Observasi;
- Lembar Identifikasi Bahaya.

Selain perlengkapan yang wajib dibawa, *safety patrol* harus menggunakan alat pelindung diri (APD). Alat pelindung diri yang dikenakan saat melakukan *safety patrol*, meliputi:

- Wearpack*;
- Safety Shoes*;
- Thermoluminescent Dosimeter (TLD)*.

2) *Safety Patrol*

Safety patrol dilaksanakan di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dan Gedung Bantu. Selama pelaksanaan *safety patrol*, dilakukan identifikasi terhadap kegiatan, sikap perilaku pekerja saat melakukan kegiatan, serta potensi bahaya yang ada.

3) *Komunikasi*

Komunikasi antara pekerja dilakukan untuk memahami kegiatan yang sedang berlangsung dan memperoleh informasi lebih mendalam yang tidak diperoleh melalui *safety patrol*.

4) *Pencatatan*

Pencatatan hasil dari *safety patrol* berdasarkan observasi dan komunikasi dengan pekerja. Informasi mengenai temuan yang terkumpul menggunakan lembar observasi dan lembar identifikasi bahaya yang telah disiapkan, kemudian diatur dalam format tabel.

5) Evaluasi/Perbaiki

Evaluasi atau perbaikan hasil temuan *safety patrol*, dilakukan pembuatan laporan temuan yang direpresentasikan dalam bentuk tabel. Langkah-langkah perbaikan diambil berdasarkan temuan-temuan tersebut.

3.2 Measure

Fase *measure* dengan tujuan untuk mengukur data yang terkumpul, yang hendak dicapai melalui *safety patrol*. Pelaksanaan *safety patrol* di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dan Gedung Bantu telah mengidentifikasi total sebanyak 55 kegiatan. *Safety patrol* ini bertujuan untuk mengawasi setiap pekerja dan keadaan dalam penerapan K3 dalam melakukan pekerjaan, memastikan pekerjaan sesuai dengan prosedur yang ada, serta mengidentifikasi potensi bahaya yang mungkin timbul.

3.2.1 Gambaran Sikap dan Perilaku Pekerja

Gambaran sikap dan perilaku pekerja dilakukan pengukuran melalui *safety patrol*, melibatkan penilaian terhadap lima indikator utama: alat pelindung diri, potensi dan tindakan pekerja, peralatan kerja, *housekeeping*, dan otoritas kerja, hasil pengukuran sikap dan perilaku setiap indikator terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gambaran Setiap Indikator Terhadap Sikap dan Perilaku Pekerja

Terlihat pada Gambar 3, indikator alat pelindung diri menunjukkan bahwa lebih dari setengahnya, yaitu 51% sesuai dalam mematuhi pemahaman penggunaan APD, namun kurang dari setengahnya, yaitu 45% tidak sesuai mematuhi pemahaman penggunaan APD, dan sebagian kecil, yaitu 4% tidak pakai penggunaan APD. Indikator potensi dan tindakan menunjukkan bahwa lebih dari setengahnya, yaitu 71% pekerja sesuai kemampuan dalam bertindak menyelesaikan pekerjaannya, sementara kurang dari setengahnya, yaitu 29% pekerja tidak sesuai dalam kemampuan dan bertindak menyelesaikan pekerjaannya. Indikator peralatan kerja menunjukkan bahwa seluruhnya, yaitu 100% sesuai dalam penggunaan alat yang benar. Indikator *housekeeping* bahwa sebagian besar, yaitu 89% sesuai dalam penerapan 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat, Rajin) di sekitar lingkungan kerja, sedangkan sebagian kecil, yaitu 11% tidak sesuai dalam penerapan 5R di sekitar lingkungan kerja dengan baik. Indikator otoritas kerja menunjukkan bahwa seluruhnya, yaitu 100% sesuai dalam memberikan kewenangan saat melakukan pekerjaannya.

3.2.2 Identifikasi Potensi Bahaya dan Risiko

Identifikasi potensi jenis bahaya dan penyakit akibat kerja di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy. Selama pelaksanaan *safety patrol* bahaya fisik merupakan salah satu jenis bahaya yang terjadi, dengan potensi bahaya seperti radiasi, zat radioaktif dan kebisingan yang berpotensi risiko akibat

dari bahaya tersebut, terpapar radiasi, terkontaminasi zat radioaktif, dan penurunan pendengaran. Selain itu, terdapat potensi bahaya mekanik seperti beban material, sinar UV/las, kegagalan pada alat, permukaan yang licin dan kerapuhan sekitar yang dapat berakibat potensi risiko tertimpa, terbentur, tersandung, luka, sakit mata, dan sebagainya. Bahaya ergonomi menjadi perhatian karena adanya potensi bahaya kesalahan desain dan postur tubuh tidak ergonomis yang berpotensi risiko kerusakan struktural pada otot dan tulang. Di samping itu, bahaya elektrik yang teridentifikasi meliputi kabel terkelupas yang dapat berpotensi risiko tersengat listrik, dan bahaya kimia yang berkaitan dengan potensi bahaya kandungan kimia berbahaya yang dapat berpotensi risiko terkena cairan berbahaya dan bau menyengat dari kandungan kimia. Potensi risiko tersebut yang telah teridentifikasi dapat menimbulkan potensi penyakit akibat kerja. Potensi penyakit akibat kerja yang diperkirakan dapat menimbulkan seperti tiroid, kanker, kerusakan genetik (ATSDR, 1999), *noise-induced hearing loss* (NIHL) (Kurniawidjaja and Ramadhan, 2019), *low back pain*, katarak, kifosis, dan dermatitis.

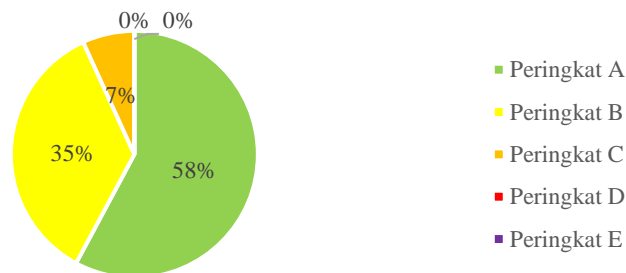
3.2.3 Penilaian

Penilaian dilakukan dari 55 kegiatan yang teridentifikasi, lalu diklasifikasikan menjadi 12 *sub*-kegiatan, salah satunya *sub*-kegiatan pengelolaan topaz. Penilaian risiko pada *sub*-kegiatan dilakukan untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi setiap daerah kerja yang memerlukan perbaikan. Penilaian risiko ditentukan dengan memperhatikan skala peluang dan skala konsekuensi, yang ditetapkan berdasarkan *safety patrol*. Dengan demikian, diperoleh skala peringkat, yang nantinya akan digunakan untuk melakukan perangkaan terhadap sumber potensi bahaya dan potensi risiko yang akan dijadikan acuan dalam mengidentifikasi dan mengelola bahaya dengan lebih efektif.

Tabel 5. Gambaran Penilaian Risiko Terhadap Kegiatan Teridentifikasi

No	Kegiatan	Identifikasi Potensi Bahaya		Potensi Penyakit Akibat Kerja	Penilaian Risiko			Peringkat Risiko		
		Potensi Bahaya	Potensi Risiko		Peluang	Konsekuensi			Skala	Peringkat
<i>Sub</i> -Kegiatan		Pengelolaan Topaz								
1	Penyortiran Topaz	Radiasi	Terpapar Radiasi	Tiroid, Kanker & Kerusakan Genetik	5	3	2	1	15	C

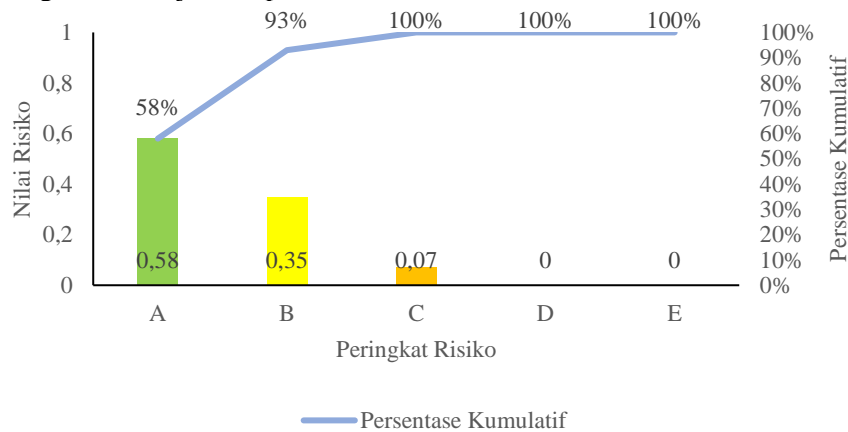
Setelah melakukan penilaian risiko setiap *sub*-kegiatan yang teridentifikasi terhadap potensi bahaya dan risiko, hasil dari peringkat risiko setiap daerah kerja kegiatan dilakukan perhitungan menggunakan teknik persentase dengan tujuannya mengetahui peringkat risiko di *sub*-kegiatan yang teridentifikasi, seperti yang terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Keseluruhan Peringkat Bahaya Risiko Kegiatan Teridentifikasi

Hasil penilaian kegiatan pada kegiatan yang teridentifikasi, termasuk kegiatan penyortiran topaz, terlihat pada Gambar 4, memperlihatkan bahwa kegiatan-kegiatan yang teridentifikasi di Instalasi Reaktor Serba G.A. Siwabessy berada pada peringkat A, yang menyatakan bahwa dapat diterima, tindakan pengendalian dikatakan efektif. Berdasarkan hasil peringkat bahaya risiko setiap kegiatan yang teridentifikasi disusun memakai diagram pareto. Diagram pareto ini mengurutkan persentase peringkat risiko dari yang tertinggi hingga terendah, dan merupakan kondisi awal untuk menerapkan peningkatan

pengendalian pada setiap kegiatan yang telah diidentifikasi. Gambaran diagram pareto peringkat bahaya risiko terhadap kegiatan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Pareto Peringkat Bahaya Risiko Kegiatan Teridentifikasi

Diagram pareto pada peringkat bahaya risiko kegiatan-kegiatan yang teridentifikasi pada Gambar 4, menunjukkan bahwa nilai risiko dengan peringkat A dan B mencakup 93% dari total risiko yang teridentifikasi. Oleh karena itu, upaya pengendalian sebaiknya difokuskan terlebih dahulu pada risiko-risiko ini untuk meminimalisir bahaya secara signifikan. Sebab itu risiko peringkat A mencakup 58% dari total risiko yang teridentifikasi dan tindakan dari kegiatan-kegiatan yang teridentifikasi dapat diterima, pengendalian dinilai efektif. Ini adalah prioritas pertama dalam tindakan pengendalian.

3.2.4 Pengendalian Existing

Penerapan pengendalian *existing* sangat penting dalam menjaga keselamatan dan efisiensi operasional di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy. Misalnya, pengendalian administratif digunakan untuk memantau berbagai kegiatan yang sedang berlangsung atau akan berlangsung serta melakukan pemeriksaan jika terjadi penyimpangan dalam bahaya fisik, mekanik, elektrik, kimia dan ergonomi, seperti yang terlihat pada Gambar 6, yang menunjukkan contoh tindakan pengendalian administratif *existing* di IRSG-GAS. Pengendalian administratif ini mencakup SOP kerja yang ketat, dan evaluasi berkala untuk memastikan bahwa semua standar keselamatan dipatuhi dan potensi bahaya dapat diminimalisir.



Gambar 6. Contoh Tindakan Pengendalian Existing (Administratif)

Pengendalian melalui rekayasa dan substitusi melibatkan perubahan pada peralatan atau proses untuk meminimalkan atau menghilangkan bahaya yang ada dalam pelaksanaan kegiatan berlangsung.

Tindakan pengendalian ini mencakup penerapan teknologi yang lebih aman serta penggunaan alternatif yang aman. Pengendalian rekayasa dan substitusi *existing* di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dapat dilihat pada Gambar 7, yang mencakup pengendalian terhadap bahaya fisik, mekanik, dan ergonomi. Penerapan pengendalian ini memastikan bahwa bahaya di lingkungan kerja dapat diminimalisir secara efektif, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan kesehatan para pekerja.



Gambar 7. Tindakan Pengendalian *Existing* (Rekayasa dan Substitusi)

Pengendalian terhadap proteksi radiasi dilakukan bertujuan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi. Pengendalian ini melibatkan berbagai langkah untuk memantau, mengontrol, dan mengurangi bahaya paparan radiasi selama kegiatan berlangsung. Bahaya fisik, mekanik, ergonomi dalam melakukan kegiatan di daerah kerja terdapat beragam tindakan pengendalian *existing* terkait proteksi radiasi di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Beragam Tindakan Pengendalian *Existing* (Proteksi Radiasi)

Pengendalian alat pelindung diri mencakup perlengkapan keselamatan yang wajib digunakan oleh pekerja untuk melindungi seluruh atau sebagian tubuh dari kemungkinan adanya bahaya saat melakukan kegiatan kerja di lingkungan kerja terhadap kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (Eze, Sofolahan

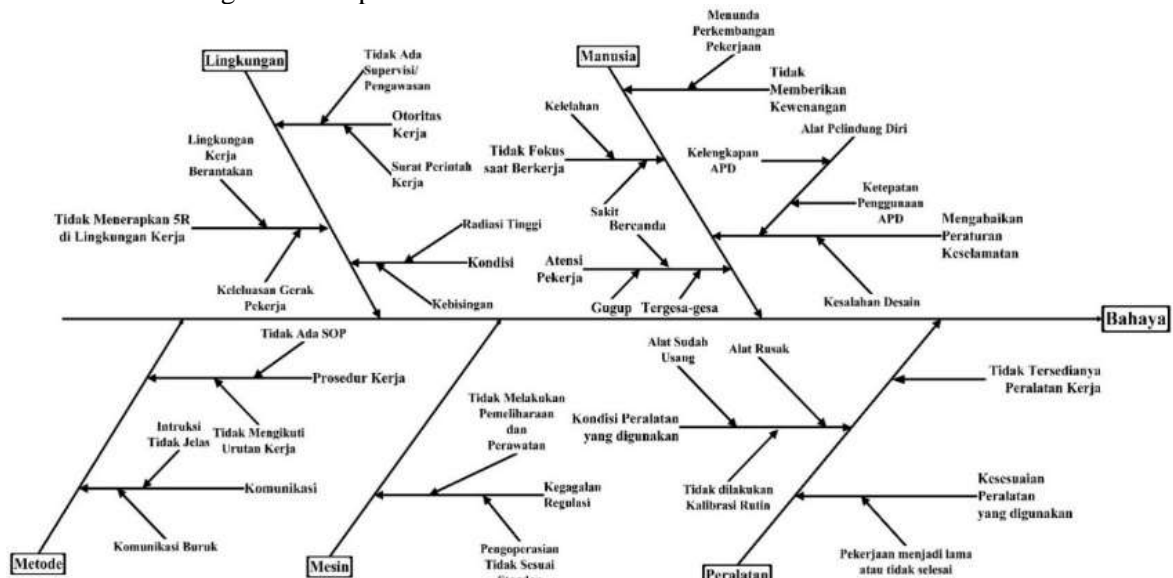
and Siunoje, 2020). Dalam upaya tindakan pengendalian *existing* di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy terlihat pada Gambar 9, penggunaan alat pelindung diri yang sesuai dengan jenis bahaya fisik maupun mekanik di suatu kegiatan kerja adalah sangatlah penting. Hal ini dimaksudkan salah satu bentuk pengendalian bahaya di lingkungan kerja yang dapat membantu meringankan cedera pada pekerja.



Gambar 9. Tindakan Pengendalian *Existing* (Alat Pelindung Diri)

3.3 Analyze

Pada fase *analyze*, tujuannya adalah menyusun analisa kondisi awal untuk mengetahui dan mengidentifikasi akar penyebab permasalahan bahaya yang diakibatkan tindakan *unsafe action* dan *unsafe condition*, yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja pada pekerja saat melakukan kegiatan di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy. Berdasarkan *safety patrol*, sumber-sumber bahaya diidentifikasi dan digambarkan pada Gambar 9.



Gambar 10. Fishbone Diagram Bahaya Terhadap Kecelakaan Kerja

Berdasarkan analisa menggunakan *fishbone* diagram, faktor-faktor yang menyebabkan bahaya kecelakaan kerja meliputi lingkungan, manusia, peralatan, mesin, dan metode. Hal ini terlihat pada Gambar 9, yang mencakup:

1) Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan yang menyebabkan bahaya karena tidak menerapkan 5R disekitar dapat mengakibatkan lingkungan kerja berantakan maupun keleluasaan terhadap gerak pekerja. Selain itu, tidak adanya supervisi di lingkungan kerja berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Kondisi lingkungan kerja yang berbahaya, seperti tingginya paparan radiasi atau kebisingan, dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja.

2) Faktor Manusia

Faktor manusia memperlihatkan berbagai bahaya yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja, seperti kelelahan atau sakit yang bisa mengganggu fokus kerja, mengabaikan peraturan keselamatan, atensi pekerja pada saat melakukan pekerjaan, dan menunda perkembangan pekerjaan.

3) Faktor Peralatan

Faktor peralatan terkait dengan kondisi peralatan yang digunakan dalam mencakup kebaruan alat, alat rusak, dan tidak dilakukan kalibrasi rutin. Selain itu, yang menyebabkan bahaya terhadap peralatan kesesuaian peralatan yang digunakan pada saat melakukan pekerjaan, ketidaktahuan terhadap penggunaan pekerja mengenai peralatan yang digunakan pada saat melakukan pekerjaannya dan tidak tersedianya peralatan di instalasi tersebut.

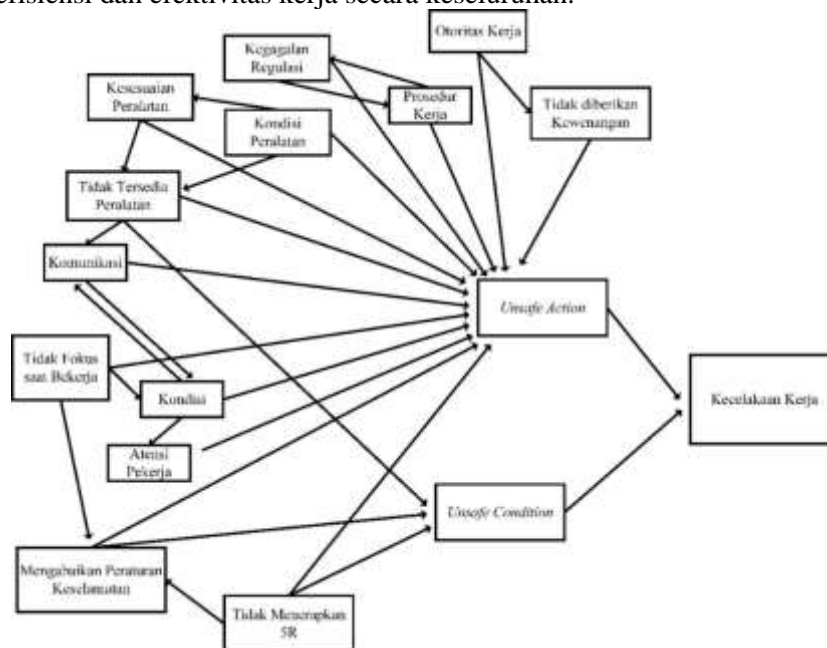
4) Faktor Mesin

Faktor mesin mencakup kegagalan regulasi, tidak melakukan perawatan dan pemeliharaan, dan pengoperasian mesin yang tidak sesuai standar. Faktor-faktor ini dapat menimbulkan bahaya dan berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja.

5) Faktor Metode

Faktor metode dapat menyebabkan masalah jika prosedur kerja tidak ada, SOP tidak tersedia, atau urutan kerja tidak diikuti dengan benar. Sementara itu, komunikasi dapat menjadi masalah apabila instruksi yang diberikan tidak jelas atau komunikasi yang buruk antara pekerja. Hal tersebut dapat menimbulkan bahaya serius di lingkungan kerja.

Bahaya tersebut membantu mengidentifikasi kondisi awal masalah terkait kecelakaan kerja yang disebabkan dari tindakan *unsafe action* dan *unsafe condition*. Hubungan antara bahaya yang berpengaruh kecelakaan kerja adalah interaksi pekerja yang menyebabkan kecelakaan kerja dari tindakan *unsafe action* dan *unsafe condition*, terlihat pada Gambar 10. Hal tersebut dipengaruhi oleh bahaya yang ada, instalasi dapat lebih mudah mengidentifikasi dan mengatasi masalah, serta meningkatkan efisiensi dan efektivitas kerja secara keseluruhan.



Gambar 11. Diagram Hubungan Antara Bahaya dengan Kecelakaan Kerja

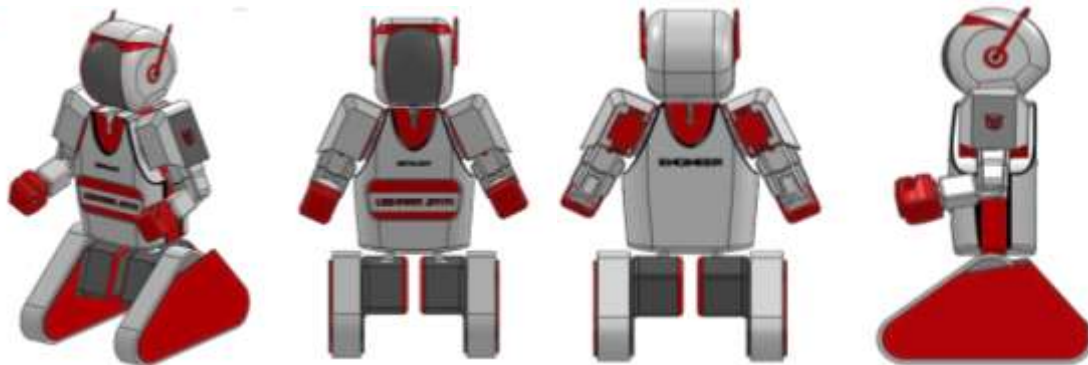
3.4 Design

Design tujuannya adalah memberikan rekomendasi alat pengendalian untuk meminimalisir bahaya di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, berdasarkan masalah yang teridentifikasi pada *sub*-kegiatan. *Sub*-kegiatan pengelolaan topaz memerlukan rekomendasi pengendalian berkelanjutan.

Tabel 6. Rekomendasi Pengendalian *Sub*-Kegiatan Pengelolaan Topaz

No	Kegiatan	Peringkat Risiko Setelah Pengendalian		Rekomendasi Pengendalian	Peringkat Risiko Setelah Pengendalian		
		Skala	Peringkat		Skala	Peringkat	
Sub-Kegiatan		Pengelolaan Topaz					
1	Penyortiran Topaz	15	C	Eliminasi	-	1	A
				Substitusi	Rancang Sistem Otomasi (Robot)		
				Pengendalian Rekayasa	-		
				Pengendalian Administrasi	SOP, Instruksi Kerja, Pedoman Kerja		
				Alat Pelindung Diri	Peningkatan Penyuluhan Penggunaan Alat Pelindung Diri		

Sub-kegiatan pengelolaan topaz sebelumnya dilakukan oleh manusia dapat meningkatkan paparan radiasi pada pekerja yang diakibatkan oleh topaz. Topaz sendiri merupakan sumber radiasi yang tinggi (Setiawanto, Rohidi and Ramadania, 2018), merancang robot kendali jarak jauh sangat penting untuk mengurangi paparan radiasi yang diterima oleh pekerja saat melakukan kegiatan pengelolaan topaz. Selain itu, penggunaan robot juga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses pengelolaan topaz tersebut, serta mengurangi bahaya kesalahan manusia yang dapat terjadi akibat kelelahan, waktu, faktor lainnya. Dengan demikian, penerapan teknologi ini tidak hanya berperan dalam aspek keselamatan, tetapi juga dalam meningkatkan produktivitas. Rekomendasi desain upaya meningkatkan keselamatan dan efisiensi pada *sub*-kegiatan pengelolaan topaz, berikut adalah rekomendasi desain yang dapat diimplementasikan di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 12. Tampilan Rekomendasi Robot Kendali Jarak Jauh

3.5 Verify

Fase *verify* bertujuan untuk penerapan keberhasilan yang telah direkomendasi dalam fase *design* alam meminimalisir bahaya dalam kegiatan yang terpilih dalam fase *design* di Instalasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, maka dilakukan membuat rekomendasi standar operasional prosedur (SOP), pedoman kerja, dan instruksi kerja dalam pengoperasian robot kendali jarak jauh serta peningkatan penyuluhan penggunaan alat pelindung diri dengan pendekatan Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2023 Tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Zat Radioaktif.

4. Simpulan

Berdasarkan uraian yang dipaparkan dalam analisa dan pembahasan tujuan masalah penelitian, dapat disimpulkan tingkat dan perilaku pekerja dalam melaksanakan kegiatan memperlihatkan indikator alat pelindung diri (APD) menunjukkan 51% sesuai dalam memakai kelengkapan penggunaan APD, 45% tidak sesuai kelengkapan APD, dan 4% tidak memakai kelengkapan penggunaan APD. Indikator potensi dan tindakan pekerja menunjukkan 71% sesuai dalam kemampuan dan bertindak dalam menyelesaikan pekerjaan, sementara 29% tidak sesuai dalam kemampuan dan bertindak dalam menyelesaikan pekerjaan. Indikator peralatan kerja menunjukkan 100% sesuai dalam pemahaman, penggunaan, dan ketersediaan saat bekerja. Indikator *housekeeping* menunjukkan 89% sesuai dalam penerapan 5R, dan 11% tidak sesuai dalam penerapan 5R. Indikator otoritas kerja menunjukkan 100% sesuai dalam memberikan kewenangannya. Jenis potensi bahaya kecelakaan kerja yang teridentifikasi di IRSG-GAS meliputi, bahaya fisik, bahaya mekanik, bahaya elektrik, bahaya kimia, dan bahaya ergonomi. Tindakan pengendalian yang telah diterapkan dengan jenis potensi bahaya fisik, mekanik, kimia, elektrik, dan ergonomi terkait dengan cara administratif. Sedangkan, tindakan pengendalian yang telah diterapkan dengan jenis potensi bahaya fisik, mekanik, dan ergonomi dengan cara substitusi, pengendalian rekayasa, pengendalian administratif, alat pelindung diri, dan proteksi radiasi. Tindakan pengendalian yang telah diterapkan dengan jenis potensi bahaya fisik dan mekanik dengan cara alat pelindung diri (APD). Rekomendasi pengendalian terhadap ketidaksesuaian dalam penerapan terhadap *sub*-kegiatan pengelolaan topaz adalah merancang sistem otomasi, yaitu robot kendali jarak jauh.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pekerja DPFK-BRIN khususnya Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy atas kesediaannya menjadi subjek penelitian dapat terlaksana dengan baik serta pembimbing peneliti yang telah membantu dalam proses penyusunan penelitian ini sehingga penelitian ini terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1999) *Toxicological Profile for Ionizing Radiation*. Washington: Public Health Service.
- Arikunto, S. (2021) *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan*. Edisi 3. Jakarta: Bumi Aksara.
- Bañuelas, R. and Antony, J. (2003) 'Going from Six Sigma to Design for Six Sigma: An Exploratory Study Using Analytic Hierarchy Process', *TQM Magazine*, 15(5), pp. 334–344.
- Baptista, A. *et al.* (2020) 'Applying DMADV on The Industrialization of Updated Components in The Automotive Sector: A Case Study', in *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., pp. 1332–1339.
- Eze, E., Sofolahan, O. and Siunoje, L. (2020) 'Health and Safety Management on Construction Projects: The View of Construction Tradespeople', *CSID Journal of Infrastructure Development*, 3(2), pp. 152–172.
- Giovanni, A., Fathimahhayati, D.L. and Pawitra, A.T. (2023) 'Risk Analysis of Occupational Health and Safety Using Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) Method (Case Study in PT Barokah Galangan Perkasa)', *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(2), pp. 198–211.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2009) *The Management System for Nuclear Installations*. Vienna: IAEA.
- Kadir, A.M.Y., Amar, K. and Asmal, S. (2024) 'A Design of Procurement Managing Tool Based on the Lean Six Sigma-DMADV: A Case Study of an Indonesian Fishery Company', *Quality - Access to Success*, 25(199), pp. 139–146.
- Kawano, Y. (2020) *Human Error and Human Healing in a Risk Society: The Forgotten Narratives of Fukusihma*. University of California.
- Kemnaker (2022) *Profil Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional Indonesia Tahun 2022*. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia.
- Kuntoro, I. (2023) *Reaktor Nuklir: Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS)*. Jakarta: BRIN.
- Kurniawidjaja, M. and Ramadhan, H.D. (2019) *Penyakit Akibat Kerja dan Surveilans*. Jakarta: UI Publishing.

- Montororing, Y.D.R., Widyantoro, M. and Muhazir, A. (2022) 'Production Process Improvements to Minimize Product Defects Using DMAIC Six Sigma Statistical Tool and FMEA at PT. KAEF', in *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing Ltd, pp. 1–10.
- Pendokhare, D. (2015) 'Redesign and Manufacturing by Using DMADV Method', *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(2), pp. 144–149.
- Putra, A.A. *et al.* (2020) 'Factors Affecting the Incidences of Needle Stick Injury on The Nurses Emergency Department of Hospital East Java', *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14(3), pp. 1799–1803.
- Putra, P.D. (2017) 'Penerapan Inspeksi Keselamatan dan Kesehatan Kerja sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja', *HIGEIA*, 1(3), pp. 73–83.
- Sari, P. *et al.* (2023) 'Input, Proses, dan Output Program Safety Patrol di Jakarta International Stadium', *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), pp. 287–300.
- Setiawanto, A., Rohidi and Ramadania, P. (2018) 'Pengendalian Paparan Radiasi di Ruang Penyimpanan Sementara Batu Topaz Pasca Iradiasi di RSG-GAS', *Jurnal BATAN*, 15(1), pp. 1–8.
- Singarimbun, M. and Effendi, S. (1981) *Metode Penelitian Survai*. Jakarta: LP3ES.
- Suhma, M.F., Marchianti, N.C.A. and Ma'rufi, I. (2021) 'Effect of Unsafe Actions and Conditions with Work Accidents in the Rotary Section of Plywood Industry PT. X Jember, Indonesia', *Medico-legal Update*, 21(3), pp. 274–279.
- Suma'mur (2013) *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Edisi 2. Jakarta: Sagung Seto.
- Timothy, M. and Widiawan, K. (2022) 'Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) pada CV. Lisa Jaya Mandiri Food', *Jurnal Titra*, 10(2), pp. 641–648.
- Wahyuningsih, U. *et al.* (2021) 'Pengenalan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja di PT. Cita Rasa Palembang', *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat Menerangi Negeri*, 3(2), pp. 155–162.
- Yusabiran, Rumambi, J.F. and Wirdana, K.I. (2020) 'Evaluasi Kesiapsiagaan Batan Menghadapi Kegagalan Teknologi Nuklir Melalui Penerapan Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS) 18001', *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(1), pp. 10–21.
- Yustiarini, D. and Asikin, F.M. (2021) 'Study for Impelementation Safety Patrol and Legal Mandate in SHE Management', *Atlantis Press*, 520(6), pp. 258–262.