

---

## KAJIAN RISIKO OPERASIONAL PADA PENGEMBANGAN SISTEM KEGEMPAAN REAKTOR RSG-GAS

### ASSESSMENT OF OPERATIONAL RISK ON THE DEVELOPMENT SEISMIC SYSTEM OF THE RSG-GAS REACTOR

Agung Satriyo<sup>1</sup>, Jaja Sukmana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran – Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Email: [agung.satriyo@brin.go.id](mailto:agung.satriyo@brin.go.id).

Diterima: 29 Maret 2022, diperbaiki : 10 April 2022, disetujui : 22 April 2022

#### ABSTRAK

**KAJIAN RISIKO OPERASIONAL PADA PENGEMBANGAN SISTEM KEGEMPAAN REAKTOR RSG-GAS.** Sistem pemantauan kegempaan yang terdapat di panel tegak Ruang Kendali Utama (RKU) Reaktor Serba Guna - G.A. Siwabessy (RSG-GAS) berfungsi memberikan peringatan adanya kejadian gempa kepada Supervisor reaktor. Pengambilan keputusan dengan kurangnya indikator yang kurang spesifik, akan mengakibatkan beberapa dampak negatif yang didasari human eror. Hal ini didasari akibat belum adanya perangkat instrumentasi yang dapat menampilkan nilai percepatan tanah secara realtime. Sistem instrumentasi kegempaan di reaktor RSG-GAS berupa indikator lampu yang membagi alarm gempa menjadi dua tingkat, yaitu alarm “*seismic recording*” (level 1) dan alarm “*earthquake*” (level 2). Keduanya tidak dapat menghentikan operasi reaktor secara otomatis, namun berfungsi memberikan peringatan kepada Supervisor untuk mengambil keputusan melanjutkan atau menghentikan operasi reaktor. Dengan demikian diperlukan kajian (termasuk kajian risiko) untuk pengembangan sistem instrumentasi kegempaan yang lebih bermanfaat secara teknis. Kajian risiko ini melakukan identifikasi potensi hambatan yang meliputi pengenalan kegiatan dan pengenalan potensi hambatan. Melakukan penilaian risiko sesuai dengan ruang lingkup, sifat, dan waktu untuk memastikan agar bersifat proaktif dan bukan reaktif; dan identifikasi prioritas, serta aplikasi pengendalian yang sesuai. Dari penilaian risiko operasional yang dilakukan diperoleh peringkat penilaian risiko paling besar adalah 16 yaitu dengan potensi hambatan pengambilan keputusan saat evakuasi terganggu akibat tidak adanya informasi yang tepat dan 15 yaitu dengan potensi hambatan penyelamatan SSK reaktor khususnya terkait keselamatan lingkungan mengalami keterlambatan. Hal ini berarti peringkat penilaian risiko mempunyai predikat ‘D’ dengan risiko belum dapat diterima, sehingga perlu dilakukan tindakan pengendalian tambahan yang diprioritaskan.

Kata kunci: Gempa bumi, alarm, SSE, risiko.

#### ABSTRACT

**ASSESSMENT OF OPERATIONAL RISK ON THE DEVELOPMENT SEISMIC SYSTEM OF THE RSG-GAS REACTOR.** The seismic monitoring system contained in the vertical panel of the Main Control Room of the Multipurpose Reactor-G.A. Siwabessy functions to provide warnings of earthquake events to the reactor supervisor. Decision making with a lack of specific indicators will result in several negative impacts

based on human error. This is based on the absence of instrumentation devices that can display the value of ground acceleration in real time. The seismic instrumentation system in the RSG-GAS reactor is in the form of a light indicator that divides the earthquake alarm into two levels, namely the "seismic recording" alarm (level 1) and the "earthquake" alarm (level 2). Both of them cannot stop the reactor operation automatically, but they function to give a warning to the Supervisor to make a decision to continue or stop the reactor operation. Thus, a study (including a risk assessment) is needed for the development of a more technically useful seismic instrumentation system. This risk assessment identifies potential barriers which include the introduction of activities and the introduction of potential barriers. Conduct a risk assessment according to the scope, nature, and time to ensure that it is proactive and not reactive; and identification of priorities, and application of appropriate controls. From the operational risk assessment carried out, the highest risk rating ratings are 16 namely with the potential barriers to decision-making when the evacuation is disrupted due to the absence of appropriate information and 15, namely with the potential obstacles to saving the SSK reactor, especially related to environmental safety, experiencing delays. This means that the risk assessment rating has a 'D' predicate with the risk not yet acceptable, so that additional priority control actions need to be carried out

**Keywords :** Earthquake, Alarm, SSE, Risk

## PENDAHULUAN

Secara geografis Indonesia merupakan salah satu negara yang dilintasi oleh *ring of fire* (ROF) dunia jalur sirkum pasific. Jalur sirkum pasific merupakan daerah aktif ROF yang mengakibatkan 80% gempa bumi yang terjadi di dunia<sup>[1]</sup>. Keaktifan daerah tektonik negara Indonesia disebabkan karena terdapat pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasific.

Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara, sedangkan lempeng Eurasia dengan lempeng Pasifik di utara Irian dan Maluku Utara. Pertemuan lempeng Indo-Australia dengan Eurasia di selatan Jawa hamper tegak lurus, berbeda dengan pertemuan lempeng di wilayah Sumatera yang mempunyai subduksi miring dengan kecepatan 5-6 cm/tahun<sup>[9]</sup>. Kecepatan tersebut termasuk dalam kecepatan yang aktif dalam terjadinya

gempa bumi, sehingga cukup sering terjadi gempa bumi yang dapat dirasakan khususnya yang epicentrumnya berada di daerah Banten dan Jawa Barat. Dampak gempa bumi jika terjadi di daerah Banten dan Jawa Barat akan dapat berakibat cukup besar terhadap keberadaan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) hal ini dikarenakan jarak epicentrum gempa dengan keberadaan Reaktor cukup dekat.

Salah satu gempa bumi yang terjadi dan dapat dirasakan di area Reaktor RSG-GAS ialah gempa bumi pada tanggal 2 Agustus 2018 pukul 19:03 WIB dengan kekuatan 6,9 SR di daerah Banten. Pada saat terjadi gempa, Reaktor RSG-GAS sedang tidak beroperasi. Meskipun dalam keadaan tidak beroperasi, kondisi reaktor tetap dipantau selama 24 jam dalam sehari<sup>[2]</sup>. Demikian kejadian kegempaan merupakan bahaya, sebagaimana definisinya, yaitu sesuatu yang berpotensi menimbulkan cedera atau kerugian baik kepada manusia, proses, properti dan lingkungan. Sumber

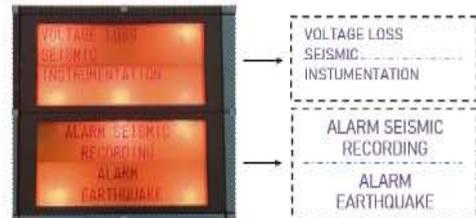
bahaya meliputi bahaya internal yang dapat berasal dari desain, bahan/material, alat/mesin, proses, lingkungan kerja, metode kerja, cara kerja, maupun produk, dan bahaya eksternal yang berasal dari lingkungan dan manusia<sup>[3]</sup>.

Reaktor RSG-GAS dibangun sejak tahun 1984 dengan desain dan teknologi tertinggi Jerman saat itu dan dilaksanakan oleh perusahaan Interatom. Konstruksi bangunan RSG-GAS ini didirikan pada daerah yang sudah dilakukan studi tapak sebelumnya untuk menjamin keselamatan pengoperasian reaktor dengan meminimalisir kecelakaan akibat dampak dari gempa bumi sehingga mengurangi potensi bahaya yang terjadi akibat kecelakaan reaktor, selain itu Struktur, Sistem, dan Komponen (SSK) RSG-GAS pada umumnya, didesain mampu menahan guncangan percepatan tanah 0,25 g<sup>[4]</sup>.

Sistem pamantauan kegepmaan yang terdapat di Ruang Kendali Utama (RKU) Reaktor RSG-GAS saat ini, merupakan sistem alarm kegepmaan warisan dari Interatom berupa indikator lampu dengan membagi alarm kegepmaan menjadi dua tingkat yaitu alarm "seismic recording" sebagai indikator batas bawah (level 1) dan alarm "earthquake" sebagai indikator batas atas (level 2) di kenal juga dengan SSE (Safe Shutdown Earthquake).

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Alarm "earthquake" tidak dapat menghentikan operasi reaktor (shutdown/scram) secara otomatis, namun berfungsi memberikan peringatan kepada supervisor untuk mengambil keputusan melanjutkan operasi reaktor atau menghentikannya, serta berpindah ke Ruang Kendali Darurat (RKD) untuk melakukan pengoperasian sistem darurat RSG-GAS. Pengambilan keputusan dengan tidak adanya standart nilai percepatan tanah tertentu, akan dapat mengakibatkan beberapa dampak negatif

yang didasari *human error*. Hal ini didasari akibat tidak adanya instrumentasi di RKU dalam menampilkan nilai percepatan tanah secara *realtime* ketika terjadi *event* gempa bumi..



**Gambar 1.** Indikator lampu alarm kegepmaan pada panel tegak di RKU

Kajian risiko ini dilakukan dengan mengidentifikasi potensi hambatan yang meliputi pengenalan kegiatan dan pengenalan potensi hambatan. Melakukan penilaian risiko sesuai dengan ruang lingkup, sifat dan waktu untuk memastikan agar bersifat proaktif dan bukan reaktif; identifikasi prioritas, dan dokumentasi risiko, serta aplikasi pengendalian yang sesuai.

Tujuan dari kegiatan kajian risiko ini adalah untuk melakukan identifikasi terhadap berbagai risiko aspek operasional dan rekomendasi mitigasi dalam penggunaan sistem pemantauan kegepmaan visual dalam pengambilan keputusan dengan ketika terjadi gempa bumi di Reaktor RSG-GAS. Sasaran dari kajian risiko ini adalah untuk memberikan kerangka kerja yang konsisten dalam mengendalikan risiko dan mengembangkan strategi dan perbaikan dalam sistem pemantauan kegepmaan visual. Sedangkan manfaat dari kajian risiko dan rekomendasi mitigasinya adalah pencapaian kinerja yang dapat dikelola dengan baik melalui kegiatan yang terencana dan berkesinambungan dengan meminimalisasi atau bahkan meniadakan dampak risiko yang mungkin terjadi dalam pengambilan keputusan dengan penggunaan sistem pemantauan

kegempaan visual ketika terjadi gempa bumi di Reaktor RSG-GAS.

## TEORI

Secara teoritis, tindakan yang harus dilaksanakan oleh supervisor ketika terjadi gempa bumi di Reaktor RSG-GAS[4] ialah:

- a. Jika gempa yang terjadi masih di bawah *safe shutdown earthquake* (SSE), harus dipertimbangkan oleh Supervisor Reaktor, apakah reaktor dapat dikendalikan dari RKU atau dipadamkan dan dikendalikan dari RKD.
- b. Jika gempa yang terjadi mencapai SSE atau lebih besar; reaktor harus dipadamkan dan pengendalian sedapat mungkin dilakukan dari RKU, apabila kondisi RKU tidak mungkin lagi digunakan maka pengendalian dialihkan ke RKD. Kemungkinan kerusakan instalasi harus diestimasi.

Ketersediaan sistem pemantau kegempaan di reaktor RSG-GAS merupakan bagian dari persyaratan keselamatan operasi reaktor sesuai dengan peraturan Badan Pengawas Ketenaganukliran[5]. Kajian risiko pengembangan parameter BKO dibagi dalam tiga level kepentingan yaitu kajian

risiko pengembangan teknologi nuklir kelas I, kelas II, dan kelas III, sesuai jenjang jabatan fungsionalnya[6]. Dan sesuai tingkat jabatan fungsionalnya maka kajian saat ini ditujukan untuk risiko pengembangan sistem instrumentasi kegempaan, perangkat nuklir kelas II.

Identifikasi potensi hambatan merupakan kegiatan untuk menemukan, mengenali dan mendeskripsikan tahapan kegiatan tertentu dari serangkaian pekerjaan yang dilakukan (persiapan, pelaksanaan, penyelesaian) untuk diidentifikasi potensi hambatannya. Peluang Risiko merupakan nilai/skala kemungkinan terjadinya suatu keadaan yang berpotensi menghambat kegiatan yang dilaksanakan[7]. Pengukuran peluang risiko dilakukan dengan melihat jenis kegiatan, yaitu:

- a. Kegiatan rutin yang berulang setiap waktu (periodik) atau dengan hasil kegiatan yang sama atau hampir sama, atau
- b. Kegiatan non-rutin yang tidak berulang yang dilakukan dalam kurun waktu tertentu (non-periodik) dengan hasil kegiatan yang tidak sama.

Penentuan nilai skala peluang terjadinya risiko dilakukan dengan mengacu Tabel di bawah

**Tabel 1.** Skala peluang terjadinya risiko

Skala	Sifat	
	Rutin	Non-Rutin
1	Secara teori bisa terjadi, tetapi belum pernah mengalami atau pernah mendengar terjadi	Secara teori bisa terjadi, tetapi yakin tidak akan terjadi selama pekerjaan berlangsung
2	Pernah terjadi 1 (satu) kali pada suatu waktu yang tidak diketahui dengan pasti, diatas 5 (lima) tahun.	Bisa terjadi tetapi sangat kecil kemungkinan akan terjadi 1 (satu) kali selama pekerjaan berlangsung
3	Pernah terjadi dalam waktu 5 (lima) tahun terakhir	Bisa terjadi paling banyak 1 (satu) kali selama pekerjaan berlangsung

4	Pernah terjadi dalam waktu 3 (tiga) tahun terakhir	Bisa terjadi paling banyak 2 (dua) sampai 3 (tiga) kali selama pekerjaan berlangsung
5	Pernah terjadi dalam waktu 1 (satu) tahun terakhir	Bisa terjadi lebih dari 3 (tiga) kali selama pekerjaan berlangsung

**Tabel 2.** Skala untuk pengukuran konsekuensi

Skala	Dampak K3	Penerimaan dosis individu	Kerugian finansial
	(K1)	(K2)	(K3)
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 dan/atau cacat permanen $>1$ orang	$75\%$ pembatas dosis unit kerja $< d < 20$ mSv	$30\% \leq f < 50\%$
5	Kematian lebih dari 1 orang	$d \geq 20$ mSv per tahun	$f \geq 50\%$

**Tabel 3.** Peringkat suatu risiko

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



**Gambar 2.** Tingkat keparahan/kerugian dari suatu Risiko

Konsekuensi dimaksudkan untuk menentukan tingkat keparahan/kerugian yang mungkin terjadi dari suatu potensi hambatan yang ada. Konsekuensi ini biasanya terkait dengan manusia/pekerja, properti, dan lain lain. Pengukuran konsekuensi harus dilakukan untuk seluruh kegiatan dengan ketentuan mengacu pada tabel 2 dan gambar 2

Peringkat skala risiko dihitung dengan mengalikan nilai skala peluang dengan nilai skala konsekuensi sesuai dengan persamaan berikut:

$$R = P \times K$$

Keterangan:  
 R = Risiko  
 P = Peluang  
 K = Konsekuensi

serta pengelompokan hasil peringkat suatu risiko dapat dilihat pada tabel 3

Pengendalian yang sudah dilakukan: 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 3.** Hirarki pengendalian risiko

### METODELOGI

Ruang lingkup kajian risiko dalam rangkaian pengambilan keputusan akibat gempa bumi adalah melakukan identifikasi terhadap berbagai risiko aspek operasional yang mungkin dan memberikan rekomendasi mitigasi dalam setiap tahapan pekerjaan dalam pengambilan keputusan dengan penggunaan sistem pemantauan kegunaan visual ketika terjadi gempa bumi di RSG-GAS.

Untuk menentukan matriks risiko dalam kegiatan pengembangan, tahapan yang harus dilakukan adalah:

1. Mengidentifikasi Potensi Hambatan
 

Pelaksana kegiatan melakukan identifikasi potensi hambatan yang meliputi:

  - a) pengenalan kegiatan untuk menemukan, mengenali dan mendeskripsikan tahapan kegiatan tertentu dari serangkaian pekerjaan yang dilakukan oleh organisasi yang menghasilkan atau mendukung satu atau lebih produk,
  - b) pengenalan potensi hambatan untuk menemukan, mengenali, dan mendiskripsikan potensi hambatan

- yang terdapat dalam setiap tahapan kegiatan atau pekerjaan (persiapan, pelaksanaan, penyelesaian)
2. Melakukan Penilaian risiko  
Dalam melakukan penilaian risiko harus dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut[8]:
- a) risiko ditentukan sesuai dengan ruang lingkup, sifat dan waktu

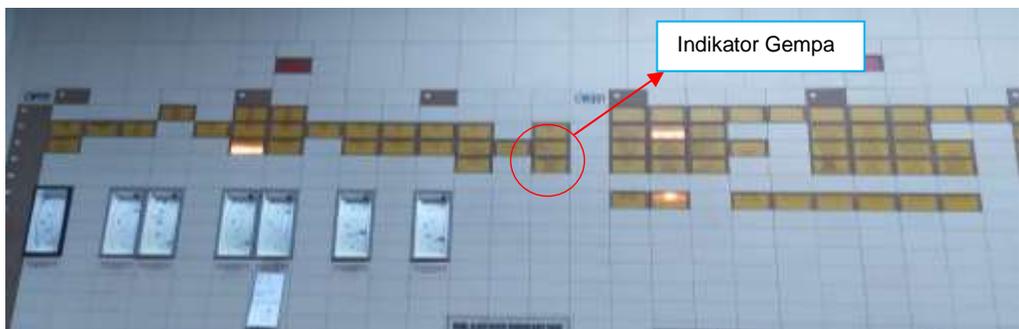
- untuk memastikan agar bersifat proaktif dan bukan reaktif; dan
- b) penilaian risiko memberikan identifikasi, prioritas dan dokumentasi risiko, serta aplikasi pengendalian yang sesuai,
  - c) memastikan bahwa hasil penilaian risiko dipertimbangkan saat menentukan pengendalian,

## HASIL DAN PEMBAHASAN

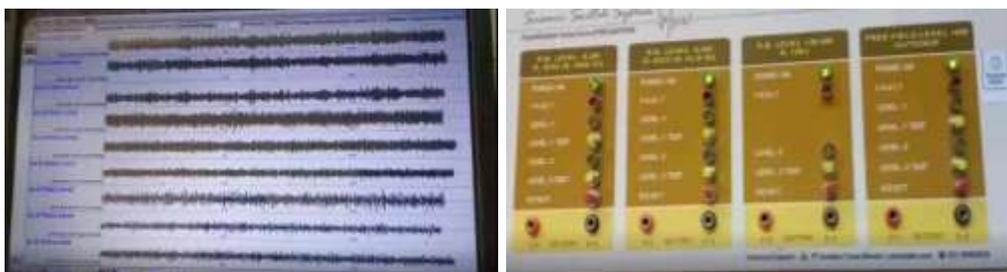
### Identifikasi Potensi Hambatan

**Tabel 4.** Identifikasi kegiatan dan bahaya/hambatan

No.	Tahapan Pokok Kegiatan	Potensi Hambatan
1	Melihat parameter gempa bumi berupa alarm dan layar monitor visual (Gambar/foto 4 dan 5)	Pengambilan keputusan serta evakuasi terganggu akibat tidak adanya informasi yang tepat Ketidaktahuan kebijakan untuk melanjutkan atau menghentikan pengoperasian reaktor
2	Memberikan laporan dan pengumuman informasi status reaktor akibat gempa bumi	Penentu kebijakan serta pegawai tidak mengetahui status reaktor terkini Penyelamatan SSK reaktor khususnya terkait keselamatan lingkungan mengalami keterlambatan
3	Memindahkan kendali reaktor dari RKU ke RKD	Pintu ruangan diesel tidak dapat dibuka Kunci switch pengendalian RKU ke RKD tidak dapat diputar



**Gambar 4.** Indikator lampu kegempaan di RKU gedung Reaktor RSG-GAS



**Gambar 5.** Perekam kegempaan area reaktor RSG-GAS di ruang/gedung RKD

Perangkat kegempaan berupa indikator lampu (Gambar 4), perekam analog dan digital (Gambar 5) pada saat terjadi kondisi gempa hanya memberikan sinyal/tanda berupa nyala lampu (Gambar 4) ataupun perekaman dan angka nominal skala kegempaan (Gambar 5) tetapi tidak dapat secara otomatis menghentikan operasi reaktor walaupun (misalnya) terjadi gempa dengan skala tertinggi.

Pada pengembangan lainnya, sistem alarm atau pemberi keputusan dari sistem instrumentasi kegempaan yang berpengaruh terhadap nilai batasan operasi reaktor akan dianalisis lebih lanjut. Dari kondisi dan pengalaman kejadian pada sistem pemantau kegempaan di reaktor RSG-GAS masih diperlukan penambahan monitor visual dengan skala “g”.

#### Penilaian Risiko

**Tabel 5.** Penilaian risiko pengembangan parameter sistem kegempaan di reaktor RSG-GAS

No.	Tahapan Pokok Kegiatan	B	Potensi Hambatan	P	K	R	Pr	Pengendalian
1	Melihat indikator gempa bumi berupa alarm dan layar monitor visual	a	Pengambilan keputusan serta evakuasi terganggu akibat tidak adanya informasi yang tepat	4	4	16	D	Pengendalian yang diprioritaskan dengan sistem diversity dan perawatan berkala
		b	Ketidaktahuan kebijakan untuk melanjutkan atau menghentikan pengoperasian reaktor	3	4	12	C	Pengendalian dengan penambahan perawatan secara berkala

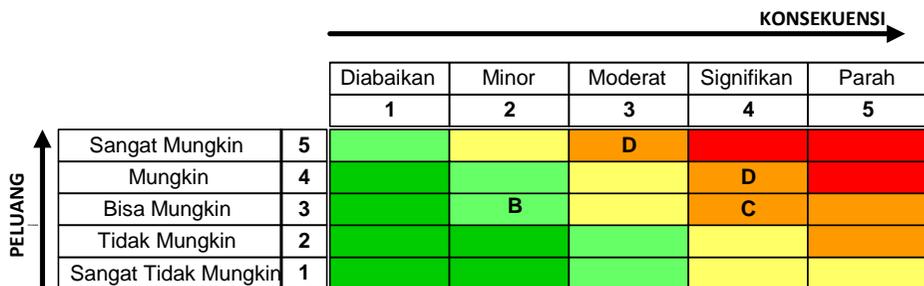
2	Memberikan laporan dan pengumuman informasi status reaktor akibat gempa bumi	c	Penentu kebijakan serta pegawai tidak mengetahui status reaktor terkini	3	2	6	B	Pengendalian administratif berupa permintaan perbaikan
		d	Penyelamatan SSK reaktor khususnya terkait keselamatan lingkungan mengalami keterlambatan	5	3	15	D	Pengendalian dengan penerapan dan revisi SOP serta rekayasa pemeriksaan/shutdown SSK
3	Memindahkan kendali reaktor dari RKU ke RKD	e	Pintu ruangan diesel tidak dapat dibuka	3	2	6	B	Pengendalian administratif berupa permintaan perbaikan
		f	Kunci switch pengendalian RKU ke RKD tidak dapat diputar	3	2	6	B	Pengendalian administratif berupa permintaan perbaikan

Keterangan header :

B : Butir Kegiatan  
P : Peluang

K : Konsekuensi  
R : Risiko

Pr : Peringkat



Keterangan :

Warna	Peringkat Risiko	Tindakan
	Sangat rendah	Bisa diabaikan
	Rendah	Evaluasi tahunan
	Sedang	Perhatian periodic
	Tinggi	Perhatian segera
	Sangat Tinggi	Tindakan segera

**Gambar 6.** Posisi tingkat keparahan hasil penilaian risiko

Kegiatan pada melihat indikator gempa bumi berupa alarm dan layar monitor visual dengan hambatan berupa pengambilan keputusan serta evakuasi terganggu akibat tidak adanya informasi yang tepat serta kegiatan pada memberikan laporan dan pengumuman informasi status reaktor akibat gempa bumi dengan hambatan berupa penyelamatan SSK reaktor khususnya terkait keselamatan lingkungan mengalami keterlambatan merupakan risiko tertinggi dengan peringkat D konsekuensi "signifikan". Risiko pada peringkat ini tidak dapat diterima dan harus dilakukan Tindakan pengendalian yang diprioritaskan. Rekomendasi pengendalian tambahan dapat menggunakan prinsip diversity untuk memastikan alarm indikator kegempaan dapat bekerja spesifik dan memudahkan Supervisor memberi keputusan terkait keselamatan operasi reaktor.

## KESIMPULAN

Dari penilaian risiko operasional yang dilakukan pada kegiatan melihat indikator gempa bumi dengan hambatan pengambilan keputusan dan kegiatan memberikan laporan status dengan hambatan penyelamatan SSK diperoleh peringkat penilaian risiko paling besar adalah 16 dan 15. Hal ini berarti peringkat penilaian risiko pengembangan operasional sistem kegempaan di reaktor RSG-GAS mempunyai predikat 'D' dengan risiko belum dapat diterima, perlu dilakukan tindakan pengendalian tambahan yang diprioritaskan. Rekomendasi pengendalian tambahan tersebut salah satunya ialah menambahkan sistem pemantauan kegempaan dengan prinsip diversity untuk menampilkan parameter spesifik dan memudahkan Supervisor memberi keputusan terkait keselamatan operasi reaktor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Saleh and Dkk, *Gempa bumi, Ciri dan Cara Menanggulangnya*. Yogyakarta: Gita Nagari, 2003.
- [2] Pur, "RSG-GAS Dalam Kondisi Aman Pasca Gempa," <http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputian/pendayagunaan-teknologi-nuklir/reaktor-serba-guna/5749-rsg-gas-dalam-kondisi-aman-pasca-gempa>, 2019. .
- [3] R. V Kolluru, S. Bartell, and R. M. Pitblado, "Risk assessment and mangement handbook for environmental.," *Heal. Saf. Prof.*, 1995.
- [4] PRSG-Batan, "Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor RSG-GAS Rev. 11," Serpong, 2020.
- [5] Bapeten, *Peraturan Kepala No. 9 Tahun 2013 Tentang Batasan dan Kondisi Operasi Reaktor Nondaya*. Indonesia, 2013, p. 95.
- [6] Permenpan RB, *Permenpan RB No.75 tahun 2020 tentang jabatan fungsional pengembang teknologi Nuklir*. 2020.
- [7] BATAN, *Penilaian risiko keselamatan dan kesehatan kerja. SB 006-1-BATAN:2019*. 2019.
- [8] PRSG, "SOP Identifikasi Bahaya Dan Penilaian Risiko Di PRSG," Serpong, SOP 030.002/KN0001/RSG, 2019.
- [9] Bock, T. Prawirodirjo, L. & Genrich, J (2000). *One century of tectonic deformation along the Sumatran fault from triangulation and Global Positioning System surveys*, *Journal Geopys, Res. Solid Earth* 105, 28343-28361