



# Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir

Volume 1, Nomor 1, Juli 2021



## Pembelajaran Kecelakaan Nuklir Fukushima bagi Indonesia

Reno Alamsyah<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jl. Gajah Mada 8, Jakarta 10120

r.alamsyah@bapeten.go.id

### Makalah Reviu

**Menyerahkan**

6 Mei 2021

**Diterima**

22 Juli 2021

**Terbit**

26 Juli 2021

### ABSTRAK

PEMBELAJARAN KECELAKAAN NUKLIR FUKUSHIMA BAGI INDONESIA. Kecelakaan nuklir Fukushima yang terjadi satu dekade lalu telah dinilai sebagai suatu kecelakaan besar. Dalam periode satu dekade ini berbagai aspek penting mengenai kecelakaan ini dinilai cukup mapan untuk pembelajaran guna meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir dan mencegah kecelakaan besar yang serupa. Hal ini menjadi sangat relevan bagi Indonesia yang dinilai sebagai negara akan membangun PLTN. Dengan demikian, makalah ini bertujuan untuk menilai pembelajaran yang telah dan dapat dipetik oleh Indonesia atas kecelakaan nuklir tersebut. Kajian ini menerapkan metodologi yang bersifat analitik, deskriptif dan kualitatif secara bertahap dengan menggunakan data sekunder. Pada tahap awal diidentifikasi aspek-aspek penting dari segi keselamatan pada kecelakaan itu dengan menggunakan standar persyaratan umum keselamatan dari IAEA. Tahap berikutnya adalah identifikasi topik-topik yang relevan untuk setiap aspek tersebut guna merinci pembelajaran melalui analisis atas peraturan perundang-undangan (PUU) dan standar internasional yang ada. Paper ini menyimpulkan bahwa Indonesia telah memetik pelajaran dari kecelakaan nuklir Fukushima dalam aspek perjanjian internasional, prinsip pengawasan, dan dalam pencegahan dan mitigasi kecelakaan. Namun, Indonesia masih perlu perbaikan yang cukup signifikan dalam aspek kepemimpinan untuk keselamatan dan peningkatan pada semua aspek tersebut. Jika telah dibuat keputusan nasional untuk membangun PLTN, maka perbaikan dan peningkatan tersebut harus dilakukan guna mencegah kecelakaan nuklir berskala besar sebagaimana yang terjadi di PLTN Fukushima.

**Kata kunci:** Pembelajaran, Kecelakaan Nuklir, Fukushima, Keselamatan Nuklir

### ABSTRACT

*The Fukushima nuclear accident that occurred a decade ago has been considered a major accident. In this decade period, various important aspects of this accident were considered well-established for learning to improve nuclear safety infrastructure and prevent similar major accidents. The learning is very relevant for Indonesia, which is considered as an embarking country. Thus, this paper aims to assess the lessons that have been and can be learned by Indonesia from the nuclear accident. This study applies an analytical, descriptive and qualitative methodology using secondary data. In the first step, the important aspects of safety in the accident were identified applying the IAEA general safety requirement standards. The next step is the identification of relevant topics for each of these aspects in order to detail the lessons learned through an analysis of existing laws and regulations and international standards. This paper concludes that Indonesia has learned the lessons from the Fukushima nuclear accident in the aspects of international agreements, regulatory principles, and in accident prevention and mitigation. However, Indonesia still needs significant upgrading in the aspect's leadership for safety and improvements in all these aspects. If a national decision has been made to build nuclear power plant, then these upgrading and improvements must be made to prevent a large-scale nuclear accident as happened at the Fukushima nuclear power plants.*

**Keywords:** Lessons Learned, Nuclear Accident, Fukushima, Nuclear Safety.

### 1. PENDAHULUAN

Kecelakaan nuklir Fukushima yang telah terjadi sepuluh tahun lalu dipicu dengan terjadinya gempa dan tsunami. Pada tanggal 11 Maret 2011 petang terjadi Gempa Bumi Besar Jepang Timur berkekuatan 9,0 dalam Skala Richter dan berpusat 130 km ke arah timur menenggara dari semenanjung Oshika dengan kedalaman 24 km [1]. Di tapak PLTN Fukushima Daiichi, 40 menit kemudian gempa ini diikuti dengan tsunami dengan ketinggian mencapai 4-5 m, dan 10 menit berikutnya dengan gelombang kedua setinggi 14-15 meter, melebihi dinding pembatas PLTN yang setinggi 4,5 m [2]. Gempa itu merusak jalur pasokan listrik, dan tsunami menyebabkan hilangnya seluruh daya listrik untuk mendinginkan tiga unit reaktor yang sedang beroperasi dan kolam bahan bakar bekas. Akibatnya, teras reaktor di

Unit 1-3 mengalami panas berlebih, bahan bakar nuklir meleleh, dan tiga pengungkung juga rusak. Hidrogen dilepaskan dari bejana tekan reaktor, menyebabkan ledakan di dalam gedung reaktor di Unit 1, 3 dan 4 [3]. Zat radioaktif dalam jumlah sangat besar dilepaskan ke lingkungan. Dalam skala INES, kecelakaan di PLTN Fukushima itu dinilai sebagai Level 7 atau *Major Accident* [4].

Bagi Indonesia kecelakaan nuklir ini sangat berpengaruh, karena Indonesia dipertimbangkan sebagai negara yang akan membangun PLTN. Pihak-pihak di Indonesia telah mengajukan dua desain PLTN baru dalam buku ARIS yang diterbitkan IAEA tahun 2020, yaitu untuk tipe HTGR dengan nama RDE/Micro-PeLUIt dan untuk tipe MSR dari ThorCon [5]. HTGR PeLUIt pada saat ini masih tetap dalam status penelitian desain konseptual. Dalam Renstra BATAN

2020-2024 ditetapkan bahwa keluaran utama untuk bidang energi adalah studi kelayakan PLTN yang antara lain mencakup penyusunan utility requirement documents SMR dan cetak biru prototipe PLTN skala komersial [6]. Untuk MSR ThorCon, laman perusahaan ini menyampaikan progres 2020 yang menyatakan masih terus mengembangkan program demonstrasi reaktornya di Indonesia dengan studi kelayakan tapak dan integrasi jaringan, serta persiapan untuk pengujian prafisi dari siklus daya primer [7]. Dalam kebijakan nasional 2020-2024 sebagaimana dibuat dalam Lampiran 3 Perpres No. 18 Tahun 2020, Indonesia hanya menargetkan penyusunan peta jalan pembangunan PLTN. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa masih ada peluang bagi Indonesia untuk membangun dan mengoperasikan PLTN, walaupun waktunya belum dapat ditentukan.

Sebagai negara yang dinilai akan membangun PLTN, Indonesia perlu memetik pelajaran dari kecelakaan nuklir Fukushima. Waktu 10 tahun sejak kecelakaan nuklir tersebut adalah memadai untuk mendapatkan berbagai laporan yang teruji secara ilmiah. Dengan demikian, makalah ini bertujuan untuk mengkaji dan mendiskusikan aspek-aspek penting yang telah dan dapat dipelajari dari kecelakaan tersebut agar ketika Indonesia telah memutuskan untuk membangun PLTN maka kecelakaan besar yang sama atau serupa dapat dicegah secara meyakinkan.

## 2. METODOLOGI

Kajian ini menggunakan metodologi yang bersifat analitik, deskriptif dan kualitatif dengan menggunakan data sekunder dari berbagai publikasi internasional yang kredibel. Studi ini dilakukan secara bertahap. Pada tahap pertama, laporan [2] sebagai referensi utama dipetakan secara analitik ke dalam seluruh tujuh standar internasional (IAEA), GSR Part 1 s.d. GSR Part 7, mengenai persyaratan umum keselamatan guna mengidentifikasi aspek-aspek yang dianggap penting sebagai pembelajaran. Karena sifat spesifiknya, standar IAEA mengenai persyaratan khusus untuk keselamatan, yaitu seri SSR, tidak akan digunakan dalam proses identifikasi ini, namun akan digunakan dalam pembahasan rinci. Setiap aspek yang dianggap penting diberikan keterangan penjelasan secara deskriptif dan kualitatif. Proses pemetaan ini dilakukan menggunakan Tabel 1.

Aspek-aspek yang terpilih kemudian disusun kembali sedemikian sehingga kandungannya tidak tumpang tindih. Untuk itu, beberapa aspek dapat dijadikan satu sejauh seluruh muatannya tetap dipertahankan. Pada tahap berikutnya, setiap aspek yang dipilih ditelaah lebih jauh untuk mengidentifikasi topik-topik yang relevan dengan menggunakan Tabel 2. Pada akhirnya, setiap topik untuk seluruh aspek yang telah diidentifikasi ini dianalisis dengan melihat ketersediaan PUU nasional dan standar internasional yang terkait, serta pembelajaran yang sudah atau dapat dipetik bagi Indonesia.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### A. Aspek Penting dan Topik Relevan

Dengan menerapkan metodologi yang digunakan dan Tabel 1, maka aspek-aspek penting keselamatan yang dapat diidentifikasi dari laporan [2] adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Dari kedelapan aspek yang diidentifikasi di atas, dapat dilihat bahwa Aspek 1 mengenai kerangka PUU untuk keselamatan adalah menyangkut seluruh aspek lainnya. Artinya, PUU merupakan bahasan yang diterapkan pada semua aspek sehingga nomenklaturnya dapat dihapuskan. Kemudian, Aspek 5-8 pada dasarnya dapat dijadikan satu sebagai Aspek Pencegahan dan Mitigasi mengingat bahwa proteksi radiasi tetap menjadi pokok utama dalam upaya pencegahan maupun mitigasi. Dengan demikian, aspek-aspek yang dipilih untuk ditelaah lebih lanjut adalah sebagaimana pada Tabel 4. Dengan menggunakan

**Tabel 1:** Proses pemilihan aspek penting dalam pembelajaran

Standar IAEA	Aspek Penting	Keterangan
GSR Part 1	Aspek 1. Aspek 2. Aspek ...	
GSR Part 2	Aspek ... Aspek ...	
...	Aspek ...	
GSR Part 7	Aspek ...	

**Tabel 2:** Proses pemilihan topik yang relevan untuk setiap aspek pembelajaran

Aspek Penting	Topik Relevan	Keterangan
Aspek 1.	Topik 1. Topik 2.	
Aspek 2.	Topik ...	
Aspek ...	Topik ...	
Aspek ...	Topik ...	

pola Tabel 2, maka Tabel 4 ini disusun untuk mengidentifikasi topik-topik yang dinilai relevan untuk setiap aspek penting.

Bagian-bagian berikut membahas secara rinci setiap aspek dan topik di atas dikaitkan dengan status PUU nasional, standar internasional yang dapat dijadikan acuan, dan pembelajaran yang dipetik darinya.

### B. Perjanjian Internasional

#### 1 Pembentukan IAEA

Setelah terjadinya Perang Dunia kedua IAEA dibentuk untuk tujuan penggunaan atom untuk maksud damai. Indonesia berpartisipasi aktif dalam rangkaian pertemuan diplomatik untuk menyusun statuta IAEA. Kemudian, Indonesia menerbitkan UU 25/1957 yang meratifikasi statuta tersebut, dan menyerahkannya kepada IAEA pada tahun yang sama bersama dengan 54 negara lain. Pada tahun 1957 itu pula IAEA disahkan sebagai badan di bawah PBB. Sebagaimana dimuat dalam situs IAEA, hingga akhir 2020 terdapat 172 negara anggota IAEA. Keanggotaan Indonesia dalam IAEA sangatlah penting dalam pengembangan tenaga nuklir nasional. Karenanya, Indonesia menerbitkan PP 65/1958 tentang Pembentukan Dewan Tenaga Atom dan Lembaga Tenaga Atom, yang kemudian diikuti dengan penetapan UU 31/1964 yang membentuk BATAN. Dengan bantuan IAEA, pada tahun 1965 Indonesia memiliki reaktor risetnya yang pertama di Bandung. Indonesia juga diminta dan mengikuti beberapa misi IAEA yang mengevaluasi kecelakaan nuklir Fukushima. Sebaliknya, banyak misi IAEA ke Indonesia ditujukan untuk mereviu kesiapan Indonesia untuk membangun PLTN. Dengan demikian, maka keanggotaan IAEA ini memfasilitasi Indonesia dalam mengembangkan infrastruktur keselamatan nuklir, termasuk pembelajaran dari kecelakaan nuklir Fukushima.

#### 2 Konvensi Keselamatan Nuklir

CNS adalah konvensi yang bersifat insentif dan produk dari kecelakaan nuklir PLTN Chernobyl 1986. CNS mulai diberlakukan pada tanggal 24 Oktober 1996. Dalam situs IAEA diinformasikan bahwa hingga Maret 2021, terdapat 91 pihak CNS, termasuk organisasi internasional EURATOM. Indonesia menandatangani CNS pada hari pembukaannya 20 September 1994, menerbitkan Keppres 106/ 2001 mengenai pengesahan CNS, dan menyerahkan instrumen ratifikasi ini kepada IAEA sebagai sekretariat CNS pada 12 April 2002, sehingga CNS mulai berlaku bagi Indonesia sejak 11 Juli 2002.

Sesuai tujuan CNS, setiap negara pihak wajib antara lain: melakukan upaya legislatif, hukum dan administratif yang diperlukan,

**Tabel 3:** Aspek penting dalam pembelajaran dari Laporan [2]

Standar IAEA	Aspek Penting	Keterangan
GSR Part 1 (Rev. 1) <i>Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety</i> (2016).	<b>Aspek 1.</b> Kerangka PUU untuk keselamatan.	Pemerintah dituntut untuk membangun kerangka PUU guna memastikan keselamatan PLTN dalam berbagai tahapan pembangunan dan operasinya, termasuk dalam hal manajemen keselamatan dan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir.
	<b>Aspek 2.</b> Perjanjian internasional.	Perjanjian internasional dianggap mengikat melalui proses ratifikasi dengan PUU tertentu sesuai dengan UU No. 24 Tahun 2000 tentang Perjanjian Internasional. Kecelakaan nuklir Fukushima terbukti berdampak secara internasional, sehingga aspek ini sangat penting untuk dibahas.
	<b>Aspek 3.</b> Prinsip pengawasan.	Pemerintah juga dituntut untuk membentuk badan pengawas yang mandiri dalam proses perizinan dan pengawasan keselamatan.
GSR Part 2 <i>Leadership and Management for Safety</i> (2016)	<b>Aspek 4.</b> Kepemimpinan, untuk keselamatan.	Kecelakaan nuklir PLTN Fukushima membuktikan bahwa keselamatan nuklir adalah suatu sistem yang merupakan produk interaksi dinamis antara manusia, teknologi dan organisasi pengoperasinya. Interaksi ini para praktiknya dilaksanakan melalui kepemimpinan, manajemen dan Budaya Keselamatan
GSR Part 3 <i>Radiation Protection and Safety of Radiation Sources</i> (2014).	<b>Aspek 5.</b> Keselamatan dan proteksi radiasi.	Kedaruratan nuklir PLTN Fukushima mengakibatkan konsekuensi radiologi yang dampaknya sangat luas, sehingga menjadi sangat penting dalam merencanakan mitigasi kecelakaan nuklir untuk setiap PLTN.
GSR Part 4 (Rev. 1) <i>Safety Assessment for Facilities and Activities</i> (2016).	<b>Aspek 6.</b> Pencegahan kecelakaan nuklir.	Analisis keselamatan menjadi bagian yang sangat penting dari teknik pencegahan kecelakaan nuklir di PLTN melalui evaluasi tapak, penilaian keselamatan desain, konstruksi, komisioning, hingga pada sistem dan prosedur operasi dan perawatannya.
GSR Part 5 <i>Predisposal Management of Radioactive Waste</i> (2009)	(tidak ada)	Predisposal merupakan kegiatan penting yang bersifat rutin dalam setiap pengoperasian instalasi nuklir, namun hal ini tidak terkait dengan skenario kecelakaan nuklir Fukushima.
GSR Part 6 <i>Decommissioning of Facilities</i> (2014).	<b>Aspek 7.</b> Mitigasi kecelakaan nuklir.	Dekomisioning dari PLTN Fukushima yang mengalami kecelakaan masih berlanjut dan membutuhkan jangka panjang untuk penyelesaiannya. Hal ini menjadi bagian dari mitigasi pasca bencana.
GSR Part 7 <i>Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency</i> (2015).	<b>Aspek 8.</b> Mitigasi kecelakaan nuklir.	Mitigasi merupakan aspek yang sangat penting dalam upaya pengurangan dampak dari suatu kecelakaan nuklir terhadap kesehatan manusia dan lingkungan hidup melalui kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, penerapan proteksi radiasi, dan upaya pemulihan serta remediasi lingkungan.

**Tabel 4:** Aspek penting dalam pembelajaran dari Laporan [2]

Aspek Penting	Topik Relevan	Keterangan
5. Perjanjian internasional	1. Pembentukan IAEA; 2. Konvensi Keselamatan Nuklir; 3. Deklarasi Wina; 4. Konvensi Pemberitahuan Dini dan Bantuan; dan, 5. Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir.	Semua perjanjian ini sangat terkait dengan kecelakaan nuklir Fukushima dan sangat penting dalam meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir nasional. Indonesia juga telah menandatangani semua perjanjian ini, walaupun belum menjadi pihak dari salah satu Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir. Kecelakaan nuklir Fukushima tidak terkait dengan masalah keamanan nuklir maupun seifgard. Sehingga, perjanjian internasional pada kedua bidang ini tidak menjadi bahan pembahasan.
6. Prinsip pengawasan.	Kemandirian badan pengawas.	Apabila badan pengawas tidak dapat dipisahkan dari fungsi promosi penggunaan tenaga nuklir, maka keputusan pengawasan tidak sepenuhnya memastikan keselamatan. Kecelakaan nuklir Fukushima mengindikasikan kurang mandiri badan pengawas.
7. Kepemimpinan untuk keselamatan	1. Kepemimpinan untuk keselamatan; 2. Sistem manajemen terintegrasi; dan, 3. Budaya Keselamatan.	Kecelakaan nuklir Fukushima memperlihatkan kritisnya peran kepemimpinan dan Budaya Keselamatan terutama dalam pengambilan keputusan pengawasan dan tindakan pengendalian kedaruratan.
8. Pencegahan dan Mitigasi	1. Pencegahan kecelakaan; dan, 2. Mitigasi kecelakaan.	Kecelakaan nuklir Fukushima memperlihatkan berbagai kelemahan dalam upaya mencegah maupun mitigasi kecelakaan tersebut. Dampak radiologinya juga sangat parah, meskipun tidak mencatat korban jiwa secara langsung dari kecelakaan nuklir itu sendiri.

termasuk membentuk badan pengawas yang secara mandiri menyelenggarakan fungsi penilaian keselamatan, perizinan dan inspeksi, serta menyampaikan laporan berkala tiga tahunan mengenai pelaksanaan semua kewajiban termasuk memastikan keselamatan di instalasi nuklir yang ada. Kesertaan Indonesia dalam CNS mendorong perubahan UU 31/1964 menjadi UU 10/1997, yang membagi fungsi BATAN sebagai badan pelaksana dan BAPETEN sebagai badan pengawas yang mandiri. Kesertaan dalam CNS juga mengarahkan penyusunan berbagai persiapan dalam pembangunan dan pengawasan PLTN. Salah satu pokok penting CNS terkait kecelakaan nuklir Fukushima adalah bahwa NISA dinilai sebagai badan pengawas yang tidak mandiri [2]. Dengan demikian, kesertaan dalam CNS sangat membantu Indonesia dalam membangun infrastruktur keselamatan PLTN dan belajar dari kecelakaan nuklir Fukushima.

### 3 Deklarasi Wina

Pada tahun 2015 diadakan konferensi diplomatik guna menyelesaikan resolusi atas pembelajaran kecelakaan nuklir

Fukushima. Indonesia juga berpartisipasi aktif dalam konferensi ini yang berakhir dengan adopsi *Vienna Declaration on Nuclear Safety* (VDNS) yang memuat tiga prinsip penting. Untuk memenuhi ketiga prinsip tersebut, IAEA telah menerbitkan berbagai standar persyaratan seperti GSR Part 4 (Rev.1) mengenai penilaian keselamatan (2016), SSR-1 tentang evaluasi tapak (2019), SSR-2/1 (Rev.1) mengenai keselamatan desain PLTN (2016), dan SSR-2/2 (Rev.1) untuk keselamatan dalam komisioning dan operasi PLTN (2016). Terkait hal ini, BAPETEN telah menerbitkan Perka 4/2018 tentang keselamatan evaluasi tapak instalasi nuklir dan Perka 3/2011 mengenai keselamatan desain reaktor daya. Dengan Deklarasi Wina ini maka Indonesia mendapat arahan yang tepat dalam mengembangkan PUU yang sudah ada sebagai pembelajaran dari kecelakaan nuklir di PLTN Fukushima.

### 4 Konvensi Pemberitahuan Dini dan Bantuan

*Convention on Early Notification of a Nuclear Accident dan Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency*, atau biasa disebut sebagai konvensi pemberitahuan

dini dan bantuan, disepakati pada Konferensi Umum IAEA tahun 1986. Keduanya adalah produk langsung dari kecelakaan nuklir PLTN Chernobyl dan bersifat insentif. Indonesia menjadi negara pihak melalui Keppres No. 81/1993 dan No. 82/1993. Sebagaimana dimuat dalam situs IAEA, hingga akhir 2020 terdapat 127 pihak konvensi pemberitahuan dini dan 122 pihak konvensi bantuan.

Konvensi pemberitahuan dini mewajibkan negara pihak yang mengalami kecelakaan nuklir untuk antara lain segera memberitahukan IAEA dan negara-negara yang sedang atau mungkin terdampak atas kecelakaan tersebut. Dalam konvensi bantuan, negara pihak yang membutuhkan bantuan, baik karena kecelakaan nuklir dan kedaruratan radiologis yang berasal di negaranya atau di negara lain, maka negara pihak ini dapat memohon bantuan IAEA, negara pihak atau organisasi internasional lainnya. Kedua perjanjian ini mendorong Indonesia untuk terus membangun PUU terkait yang sudah ada, yaitu Perka 1/2015 mengenai penatalaksanaan tanggap darurat dan Perka 1/2010 tentang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir. Skala masif dari kecelakaan nuklir Fukushima menambah pembelajaran bagi Indonesia mengenai pentingnya kedua konvensi ini. Laporan IAEA [2] juga mencatat pentingnya Jepang menyusun pengaturan internasional untuk pemberitahuan dan bantuan internasional.

### 5 Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir

UU 10/1997 telah memberikan aturan dasar mengenai pertanggungjawaban kerugian nuklir dengan mengacu pada perjanjian internasional yang ada saat itu. Demikian pula dengan besarnya nilai maksimum pertanggungjawaban yang diberikan dalam PP 74/2012. Indonesia sudah menandatangani Protokol Amandemen Konvensi Vienna tentang Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir dan Konvensi Kompensasi Tambahan Kerugian Nuklir (CSC) pada tanggal 6 Oktober 1997, meskipun belum meratifikasinya.

Apabila sudah ada kepastian dalam pembangunan dan pengoperasian PLTN tentu ada cukup waktu bagi Indonesia untuk menjadi pihak dari salah satu atau kedua konvensi tersebut. Sebagai pertimbangan, dalam CSC dana pertanggungjawaban awalnya berasal dari Operator PLTN melalui pool asuransi. Jika tidak memadai, pemerintah wajib menambahkan sejumlah tertentu. Apabila masih kurang memadai juga, ada dana tambahan dari negara-negara pihak CSC. Sebagaimana tercatat pada situs IAEA, Jepang baru menjadi pihak CSC pada tanggal 15 April 2015, setelah dilaksanakannya pertanggung-jawaban dan berbagai remediasi lingkungan di luar tapak PLTN Fukushima [2].

### C. Prinsip Pengawasan

Badan pengawas nuklir Jepang NISA, yang berada di bawah METI yaitu kementerian yang menerbitkan izin sekaligus mempromosikan tenaga nuklir, dibubarkan segera setelah terjadinya kecelakaan nuklir Fukushima. Hal ini bertentangan dengan CNS, walaupun Jepang adalah negara pihak CNS. Sehingga, laporan DG IAEA [2] menekankan bahwa pengawas harus mandiri dan memiliki otoritas hukum, kompetensi teknis dan budaya keselamatan yang kuat. NISA kemudian digantikan oleh NRA yang dianggap lebih mandiri dengan berada dalam koordinasi kementerian lingkungan hidup.

Untuk masalah kemandirian, suatu studi [8] menyimpulkan bahwa secara umum kemandirian BAPETEN dijamin oleh PUU. Studi ini kemudian mengidentifikasi adanya potensi pembatasan kemandirian itu secara politis, karena BAPETEN berada di bawah koordinasi kementerian yang juga mempromosikan pemanfaatan tenaga nuklir, walaupun dalam hal ini kementerian tersebut tidak berwenang menerbitkan izin. Selain itu, studi itu juga menyarankan bahwa untuk meningkatkan kemandiriannya BAPETEN perlu untuk terus mengembangkan kompetensi SDM, transparansi dan keterbukaan. Saran-saran tersebut sejalan dengan laporan IAEA

[2]. Dengan demikian, belajar dari kecelakaan nuklir Fukushima itu terdapat banyak peluang bagi BAPETEN dalam meningkatkan PUU dan sistem pengawasannya, terutama mengenai kemandirian BAPETEN jika tetap berada di bawah koordinasi kementerian yang bertanggung jawab untuk riset dan teknologi nuklir.

### D. Kepemimpinan untuk Keselamatan

Beberapa studi mengidentifikasi peran penting kepemimpinan dalam mengelola krisis kecelakaan nuklir Fukushima dan dalam melaksanakan pengawasannya sebagaimana diuraikan dalam [9]. Respons IAEA terhadap pentingnya kepemimpinan pada kecelakaan tersebut didokumentasikan dalam GSR Part 2 (2016) mengenai kepemimpinan dan manajemen keselamatan. Standar ini menggantikan GS-R-3 (2006) yang cakupannya terbatas pada sistem manajemen terintegrasi. Dalam hal ini, BAPETEN telah menerbitkan dan melaksanakan inspeksi berdasarkan Perka 4/2010 yang berbasis pada GS-R-3. Aspek kepemimpinan belum masuk ke dalam ranah PUU nasional.

Laporan IAEA [2] juga menggarisbawahi pentingnya budaya keselamatan yang kuat, yang melembagakan sikap bertanya dan dialog berkelanjutan, serta pendekatan sistemik keselamatan dengan mempertimbangkan interaksi manusia, organisasi dan teknologi. Perka 4/2010 telah secara umum mengatur tentang pelaksanaan Budaya Keselamatan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ada peluang yang cukup besar untuk meningkatkan PUU nasional dalam hal kepemimpinan, manajemen dan budaya keselamatan sebagai pembelajaran dari kecelakaan nuklir Fukushima.

### E. Aspek Pencegahan dan Mitigasi

#### 1 Pencegahan kecelakaan

Kecelakaan nuklir Fukushima memberi berbagai pelajaran pencegahan. Ringkasan pembelajaran untuk evaluasi tapak, desain maupun dalam pengoperasian sesuai dengan [2] dan status PUU nasional yang relevan serta standar internasional yang dapat diacu adalah sebagaimana diuraikan pada Tabel 5.

Tabel 1 di atas telah menjelaskan bahwa ada sejumlah peluang untuk peningkatan PUU sehubungan dengan teknis pencegahan dengan belajar dari kecelakaan nuklir Fukushima. PUU mengenai desain PLTN membutuhkan pengembangan yang sangat signifikan dengan banyaknya standar keselamatan yang harus diperhatikan.

Kecelakaan nuklir Fukushima juga mengingatkan tentang pentingnya konsep keterujian, yang dapat dilihat sebagai hasil atau sebagai proses. Sebagai hasil, keterujian ditunjukkan dengan lamanya pengalaman operasi termasuk riwayat kepatuhan regulasi, kinerja pengujian berskala penuh atau sebagian, atau pengalaman di industri sejenis [10]. Dalam hal ini, PP 2/2014 mensyaratkan keterujian dengan pengalaman operasi dan pengujian dalam purwarupa. Keterujian sebagai proses dilakukan melalui praktik rekayasa yang teruji, penggunaan kode dan standar, desain dan manufaktur SSK yang penting untuk keselamatan, konstruksi, dan prosedur yang teruji. PUU nasional belum secara rinci mengatur aspek teknis keterujian sebagai proses.

#### 2 Mitigasi kecelakaan

Ada banyak pembelajaran mitigasi bencana yang dapat dipetik dari kecelakaan nuklir Fukushima sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Cakupan yang diuraikan Tabel 2 memperlihatkan pembelajaran yang sangat luas dan perlu diadopsi dalam PUU nasional, yang masih sangat terbatas dan belum mengantisipasi kecelakaan besar seperti Fukushima. Program manajemen kecelakaan, sebagaimana diuraikan SSG-54 (2019) dan SAMG-D [11], dapat menjadi teladan utama dalam pengoperasian PLTN yang mengantisipasi berbagai kemungkinan kecelakaan.



**Tabel 5:** Pembelajaran pencegahan dari kecelakaan nuklir Fukushima.

Fase	Pembelajaran untuk Pencegahan [2]	Status PUU Nasional
Evaluasi Tapak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penilaian bahaya alam harus konservatif, dengan data komprehensif dan mengkarakterisasi bahaya alam yang ekstrem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sebagian sudah ada di PP 54/2012, PP 2/2014 dan Perka 4/2018.</li> <li>- Dapat ditinjau kembali dengan memperhatikan a.l.: SSR-1 (2019), SSR-4 (Rev.1) (2016), SSG-9 (2010), SSG-16 (2011), SSG-18 (2011), SSG-35 (2015), NS-G-1.5 (2003), NS-G-3.1 dan NS-G-3.2 (2002), NS-G-3.6 (2004), dan [2].</li> </ul>
Desain dan konstruksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempertimbangkan bahaya alam yang ekstrem secara kombinasi, simultan maupun berurutan, dan efek gabungannya pada desain PLTN;</li> <li>- Sistem pendingin, sistem pertahanan berlapis, SIK, dan fungsi penyangkup yang kokoh dan andal pada kecelakaan di luar dasar desain;</li> <li>- Analisis keselamatan probabilistik dan deterministik yang menyeluruh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sebagian sudah ada di PP 54/2012, PP 2/2014 dan Perka 3/2011.</li> <li>- Dapat ditinjau kembali dengan memperhatikan a.l.: SSR-2/1(Rev.1) (2016), SSR-4 (Rev.1) (2016), SSG-2 (Rev.1) (2019), SSG-3 dan SSG-4 (2010), SSG-16 (2011), SSG-30 (2014), SSG-34 (2016), SSG-38 (2015), SSG-39 (2016), SSG-52 dan SSG-53 (2019), SSG-56 dan SSG-63 (2020), NS-G-1.6 (2003), NS-G-1.7 dan NS-G-1.11 (2004), NG-G-1.13 (2005), dan [2].</li> </ul>
Pengoperasian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penilaian Keselamatan Berkala harus mempertimbangkan berbagai kemajuan ilmu pengetahuan, informasi dan data baru;</li> <li>- Tinjauan pengalaman operasi menjadi bagian dari standar pengawasan, mempertimbangkan sumber-sumber yang relevan seperti Sistem Pelaporan Insiden IAEA dan NEA/OECD.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sebagian sudah ada di PP 54/2012 dan PP 2/2014.</li> <li>- Dapat ditinjau kembali dan dikembangkan dengan memperhatikan a.l.: SSR-2/2(Rev.1) (2016), SSR-4 (Rev.1) (2016), SSG-12 (2010), SSG-16 (2011), SSG-25 (2013), SSG-28 (2014), SSG-48 (2018), SSG-50 (2018), SSG-54 (2019), NS-G-2.1 dan NS-G-2.2 (2002), NS-G-2.3 dan NG-G-2.4 (2003), NS-G-2.5, NS-G-2.6 dan NS-G-2.8 (2002), NS-G-2.13 (2009), NS-G-2.14 (2008), dan [2].</li> </ul>

**Tabel 6:** Pembelajaran mitigasi dari kecelakaan nuklir Fukushima

Cakupan	Pembelajaran untuk Mitigasi [2]
Kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manajemen kecelakaan harus menyeluruh, mutakhir, termasuk kecelakaan yang melibatkan beberapa unit di pembangkit multi-unit;</li> <li>- Pelatihan harus meliputi kondisi kecelakaan parah yang dipostulasikan, termasuk simulasi penggunaan peralatan aktual untuk itu;</li> <li>- Pembagian peran dan tanggung jawab di dalam dan di luar tapak yang jelas dan diuji secara teratur, termasuk untuk pekerja kedaruratan yang bertugas tetap, yang ditunjuk saat terjadi kedaruratan, dan tim penolong sukarela;</li> <li>- Pengaturan pengambilan keputusan tindakan perlindungan segera; dan,</li> <li>- Analisis kedaruratan dan tanggapan yang tepat waktu, serta kriteria penghentian tindakan perlindungan dan penanggulangan untuk transisi ke tahap pemulihan.</li> </ul>
Konsekuensi radiologis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perlu kuantifikasi dan karakterisasi yang cepat mengenai jumlah dan komposisi pelepasan, program pemantauan lingkungan jangka panjang yang menyeluruh dan terkoordinasi guna menentukan sifat dan tingkat dampak radiologis terhadap lingkungan di tingkat lokal, regional dan global;</li> <li>- Konsistensi antara standar internasional dan nasional terkait dengan air minum, makanan, produk konsumen yang tidak dapat dikonsumsi, dan aktivitas terendap di darat;</li> <li>- Sistem pemantauan dan rekaman dosis publik serta survei kesehatan untuk pengambilan keputusan tindakan dan upaya perlindungan, atau untuk perencanaan tindakan medik; dan,</li> <li>- Informasi faktual dan pemahaman risiko atau efek radiasi yang perlu dikomunikasikan dengan cara yang mudah dipahami dan tepat waktu kepada publik di daerah terdampak guna mengurangi kekhawatiran mereka dan mendukung inisiatif perlindungan mereka sendiri, dan juga bagi tenaga kesehatan dan penanggap pertama bidang medik.</li> </ul>
Pemulihan pasca kecelakaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perencanaan pra-kecelakaan untuk pemulihan pasca-kecelakaan untuk meningkatkan pengambilan keputusan di bawah tekanan dalam situasi langsung pasca-kecelakaan;</li> <li>- Strategi remediasi yang menyeluruh, termasuk uji dan kendali makanan secara ketat guna mencegah atau meminimalkan dosis konsumsi, serta pengelolaan limbah radioaktif, cairan dan bahan padat yang terkontaminasi dengan mempertimbangkan aspek sosial ekonomi; dan,</li> <li>- Rencana strategis dekomisioning yang luwes terhadap perubahan dan informasi baru, termasuk pengembangan metode dan teknologi untuk menarik bahan bakar yang rusak.</li> </ul>

Dalam beberapa tahun ini Indonesia mengembangkan sistem pemantauan data radiologis guna mendeteksi atau mengetahui adanya lepasan radioaktif di wilayah Indonesia, baik yang berasal dari dalam maupun luar negeri. Sejak 2018 lalu, sistem ini diintegrasikan kepada *international radiological monitoring system (IRMIS) IAEA [12]*. *Ketersediaan informasi yang segera mengenai* adanya lepasan radioaktif merupakan titik kritis dalam pengambilan keputusan tindakan mitigasi.

Terkait dengan mitigasi melalui dekomisioning, pemerintah Jepang telah menerbitkan rencana jangka menengah dan panjang, yang pelaksanaannya sedang berjalan, antara lain dengan berbagai upaya karakterisasi, pengelolaan limbah dan pemindahan bahan bakar yang rusak [13]. Komitmen ini berbeda dengan yang dilakukan pemerintah Ukraina untuk PLTN Chernobyl, yang memilih strategi penguburan (*entombment*). PUU nasional teknis terkait dekomisioning, Perka 4/2009, mengambil pembelajaran dari kecelakaan Chernobyl ketika menyatakan bahwa “Dalam kondisi kecelakaan parah dan seluruh

limbah radioaktif tidak dapat dipindahkan dari reaktor nuklir, maka PIN harus memilih hanya opsi penguburan”. Hal ini tentu saja tidak sejalan dengan perkembangan dekomisioning di PLTN Fukushima. Dengan demikian, aspek teknis dekomisioning pada Perka 4/2009 perlu ditinjau kembali, khususnya mengenai opsi penguburan tersebut.

Untuk remediasi lingkungan, pemerintah Jepang telah membangun fasilitas penyimpanan sementara jangka panjang yang sangat luas. Pada tahun 2019 dan 2020 fasilitas ini telah menerima masing-masing 4 juta meter kubik tanah dan benda-benda terkontaminasi lainnya. Akhir tahun 2021 diharapkan pemindahan seperti itu dapat seluruhnya diselesaikan, kecuali untuk yang berasal dari daerah yang sulit dikembalikan (*difficult-to-return zones*) [14]. PUU nasional untuk menanggapi hal baru seperti ini dan secara umum terkait dengan pemulihan pasca kecelakaan harus mencatat pembelajaran berharga dari Fukushima ini.

Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa ada sangat banyak peluang pengembangan pada aspek teknis dalam PUU

nasional. Dalam pencegahan, perhatian pada saat ini sebagai embarking country adalah terutama untuk PUU mengenai desain dan keterujiannya. Dalam mitigasi, PUU dalam bidang kesiapasiagaan dan penanggulangan nuklir, proteksi radiasi, serta dekomisioning dan remediasi lingkungan mendapat banyak pembelajaran dari dokumen maupun rekaman yang diterbitkan pemerintah Jepang dalam menanggapi kecelakaan nuklir Fukushima.

#### 4. KESIMPULAN

Indonesia telah memetik pelajaran dari kecelakaan nuklir Fukushima dalam aspek perjanjian internasional, prinsip pengawasan, dan dalam pencegahan dan mitigasi kecelakaan. Pelajaran itu tertuang dalam infrastruktur keselamatan nuklirnya dalam bentuk PUU dan praktik pengawasan. Ini berarti bahwa Indonesia masih perlu perbaikan yang cukup signifikan dalam aspek kepemimpinan untuk keselamatan, yang justru memainkan peran sangat penting terutama dalam mengantisipasi dan melakukan penanggulangan kedaruratan nuklir. Peluang untuk peningkatan pada semua aspek juga dapat dilakukan dengan memperhatikan berbagai standar IAEA dan laporan lengkap kecelakaan nuklir di PLTN Fukushima [2]. Jika Indonesia telah membuat keputusan nasional untuk membangun PLTN, maka perbaikan dan peningkatan tersebut harus dilakukan guna mencegah kecelakaan nuklir berskala besar sebagaimana yang terjadi di PLTN Fukushima

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Manajemen P2STPIBN yang telah mendukung dan memberikan kesempatan luas kepada penulis untuk melakukan kajian dan penulisan paper ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] JMA. *Information on the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*. Tokyo: JMA; [cited 2021 Apr 21]. Available from: [http://www.jma.go.jp/jma/en/2011\\_Earthquake/Information\\_on\\_2011\\_Earthquake.html](http://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake/Information_on_2011_Earthquake.html)
- [2] IAEA. *The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General*. Vienna: IAEA; 2015. 30-31, 70-73, 96-99, 137-139, 161-163 p.
- [3] IAEA. *The Fukushima Daiichi Accident: Technical Volume 1/5 Description and Context of the Accident*. Vienna: IAEA; 2015. 91-118 p.
- [4] Abe S. *The response of central and local government agencies to the Fukushima nuclear power plant accident*. In: Hatamura Y, Abe S, Fuchigami M, Kasahara N, editors. *The 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident: How and Why it Happened*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2015. 97 p.
- [5] IAEA. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: A Supplement to IAEA ARIS*. Vienna: IAEA; 2020. 191-4, 255-8 p.
- [6] BATAN. *Rencana Strategis BATAN 2020-2024*. Jakarta: BATAN; 2020. 37 p.
- [7] ThorCon. *ThorCon Progress in 2020* [updated 2020; cited 2021 Apr 21]. Available from: <https://mailchi.mp/56fd8727018f/thorcon-progress-in-5104808?e=0053bd50de>
- [8] Alamsyah R. *Evaluasi Peraturan Perundang-Undangan Mengenai Kemandirian BAPETEN*. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2018. 2018 Aug 2; 208-17.
- [9] Alamsyah R. *Building leadership competence for nuclear safety. Proceeding of i-Concern 2019*. 2020 Mar 27;1: 550-7 p.
- [10] IAEA. *NP-T-2.1 Common User Considerations (CUC) by Developing Countries for Future Nuclear Energy Systems: Report of Stage 1*. Vienna: IAEA; 2009. 58 p.
- [11] IAEA. *Severe Accident Management Guideline Development Toolkit (SAMG-D)*. [cited 2021 Apr 21]. Available from: <https://www.iaea.org/topics/severe-accident-management/severe-accident-management-guideline-development-toolkit-samg-d>
- [12] IAEA. *EPR information exchange*. [cited 2021 Apr 22]. Available from: <https://www.iaea.org/topics/epr-information-exchange>
- [13] METI. *Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi NPS Units 1-4*. [updated 2019; cited 2021 Apr 22]. Available from: [https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20191227\\_3.pdf](https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20191227_3.pdf)
- [14] Matsuzawa Y. *Environmental Remediation in Off-site of Fukushima Dai-ichi NPS*. [updated 2020; cited 2021 Apr 22]. Available from: [https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/moe\\_side\\_event.pdf](https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/moe_side_event.pdf)