

## **BAB 4**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gambaran Umum Obyek Penelitian**

Gambaran obyek penelitian dilakukan peneliti dengan mendeskripsikan gambaran umum obyek penelitian yang diteliti secara terperinci untuk memberikan gambaran terhadap: 1). KNS; dan 2). RSG-GAS.

##### **4.1.1 KNS**

KNS merupakan wilayah pusat kegiatan Litbangyasa Iptek nuklir. pusat ini, dibangun dengan tujuan untuk mendukung usaha pengembangan industri nuklir dan persiapan pembangunan serta pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia. Pembangunan instalasi dan laboratorium KNS dimulai sejak tahun 1983 dan selesai secara keseluruhan pada tahun 1992. KNS memiliki luas wilayah 30 (tiga puluh) hektar dalam kawasan Pusat Penelitian Iptek (Puspiptek) dengan luas 150 (seratus lima puluh) hektar. Daerah Puspiptek dilewati jalan provinsi yang menghubungkan Kota Tangsel dengan Kabupaten Bogor atau yang menghubungkan desa Setu dan Gunung Sindur. Secara administratif, lokasi KNS ini terletak di Kelurahan Muncul, Kecamatan Setu, Kota Tangsel, Propinsi Banten. Jarak garis lurus dengan Jakarta sekitar 27 km (dua puluh tujuh kilo meter) arah Selatan-Barat Jakarta, 36 km (tiga puluh enam kilo meter) sebelah Utara kotamadya Bogor, 22 km (dua puluh dua kilo meter) sebelah Selatan kotamadya Tangsel dan 30 km (tiga puluh kilo meter) dari garis pantai Utara propinsi Banten.

Secara administratif lokasi KNS di Kota Tangsel, dalam Indeks Risiko Provinsi Banten dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2019 yang diberikan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Nilai Indeks Risiko Bencana Provinsi Banten 2015 – 2019**

Kabupaten/ Kota	2015	2016	2017	2018	2019	Kelas Risiko 2019
Pandeglang	215.20	215.20	215.20	215.20	215.20	tinggi
Lebak	215.20	215.20	215.20	215.20	215.20	tinggi
Serang	203.20	203.20	203.20	203.20	203.20	tinggi
Tangerang	200.80	200.80	185.63	185.63	170.15	tinggi
Kota Serang	184.80	184.80	184.80	168.56	168.56	tinggi
Kota Cilegon	182.40	182.40	182.40	164.32	147.21	tinggi
Kota Tangerang	136.00	136.00	136.00	136.00	136.00	sedang
Kota Tangsel	102.40	102.40	102.40	102.40	102.40	sedang

Sumber: Buku IRBI (2019)

Berdasarkan Tabel 4.1 Kota Tangsel teridentifikasi masuk dalam kelas risiko bencana sedang dengan nilai 102.40. Ancaman bencana beragam, antara lain gempa bumi, banjir, tanah longsor, kebakaran lahan. KNS yang berkedudukan di Kota Tangsel memiliki objek vital nasional yang bersifat strategis dapat meningkatkan risiko bencana apabila aspek mitigasinya tidak dapat dikelola dengan baik.

Di Dalam wilayah KNS terdapat bangunan penelitian dan pengembangan teknologi nuklir di bawah BATAN yang saat ini bergabung dengan BRIN, terdiri atas sembilan unit kerja dan satu BUMN yaitu INUKI yang diberikan dalam Gambar 4.1



**Gambar 4.1 KNS**

Sumber: google maps (2021)

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa RSG-GAS dikelilingi oleh sembilan unit kerja dan satu BUMN. Selain DPFK, 8 (delapan) unit kerja lain dan satu BUMN merupakan fasilitas nuklir dan laboratorium penunjang RSG-GAS yang berada di KNS, di bawah naungan BRIN. Unit kerja dan BUMN tersebut, masuk dalam bahaya radiasi kategori III (tiga), sedangkan RSG-GAS masuk dalam kategori ke II (dua), artinya berisiko terjadi lepasan radioaktif ke luar KNS. Fasilitas selain RSG-GAS tersebut, berpotensi bahaya memberikan efek deterministik di dalam tapak namun tidak memberikan dampak ke luar tapak fasilitas, sehingga tidak diperlukan tindakan protektif segera untuk lepasan radioaktif ke kawasan. Tugas dan fungsi fasilitas yang berada di dalam KNS, antara lain:

**a. INUKI**

INUKI 230 m (dua ratus tiga puluh meter) dari DPFK adalah BUMN yang bergerak dalam industri berbasis teknologi nuklir sesuai dengan PP Republik Indonesia No. 4 tahun 1996 tentang Penyertaan Modal Pemerintah dalam Persero. Modal dasar dari BATAN yang bergabung dengan BRIN berupa pengalihan tiga

pusat penelitian yang mempunyai potensi komersial yaitu 1). fasilitas produksi radioisotop dan radiofarmaka untuk keperluan medis dan industri yang dilaksanakan oleh Divisi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka; 2). fasilitas produksi elemen bakar nuklir menghasilkan produk elemen bakar nuklir untuk memenuhi kebutuhan reaktor riset RSG-GAS; dan 3). fasilitas jasa teknik berupa kegiatan masing-masing untuk komponen industri dilaksanakan oleh Divisi Jasa Teknik.

b. **PRTKRN**

PRTKRN 230 m (dua ratus tiga puluh meter) dari DPFK bertugas melaksanakan kajian desain teknis dan keselamatan reaktor riset dalam rangka revitalisasi dan penguatan keselamatan terhadap reaktor riset RSG-GAS di Serpong, Reaktor Kartini di Yogyakarta, dan Reaktor Triga 2000 di Bandung. Selain itu, PRTKRN juga bertugas melaksanakan kajian desain teknis dan keselamatan PLTN tipe LWR, melaksanakan pengembangan fasilitas litbang teknologi dan keselamatan reaktor nuklir. Serta melaksanakan pembinaan dan penumbuhkembangan budaya keselamatan di BRIN.

Layanan riset yang dilakukan oleh PRTKRN adalah pengujian dan analisis perangkat lunak komputasi untuk melakukan analisis keselamatan reaktor aspek termohidrolika dan netronik. Selain itu dapat digunakan untuk simulasi kecelakaan reaktor, perhitungan lain yang melibatkan transport partikel neutron, elektron, dan gamma, berbasis metode Monte Carlo. Termasuk pemantauan kondisi, analisis keandalan struktur/material dan lain-lain.

### c. PRTL

PRTL 650 m (enam ratus lima puluh meter) dari DPFK bertugas melaksanakan penelitian dan pengembangan teknologi pengelolaan limbah radioaktif. PRTL memberikan layanan bagi penghasil limbah radioaktif di seluruh Indonesia termasuk limbah yang berasal dari internal BRIN dan dari publik/masyarakat, antara lain berupa layanan jasa pengelolaan limbah radioaktif, layanan jasa penitipan sumber radioaktif, layanan permohonan penggunaan kembali (*Reuse*) dan daur ulang (*Recycle*) zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan, layanan pemindahan material target terirradiasi, dan Layanan pengelolaan limbah B3 khusus internal BRIN di KNS. Pengelolaan limbah radioaktif yang dilakukan PRTL antara lain layanan pengelolaan limbah radioaktif sumber bekas, limbah radioaktif cair, limbah radioaktif semi cair, limbah radioaktif padat, dan limbah radioaktif bahan nuklir.

PRTL melakukan layanan pengelolaan limbah radioaktif sumber bekas, antara lain yang berasal dari RS, industri maupun lembaga penelitian. Sumber bekas tersebut ditangani dengan cara kondisioning yang diberikan dalam Gambar 4.2 Kegiatan kondisioning dilakukan sesuai dengan sifat radionuklidanya, untuk selanjutnya dilakukan penyimpanan sementara dalam Gambar 4.3



**Gambar 4.2 Unit Kondisioning Sumber Bekas**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptlr>



**Gambar 4.3 Fasilitas Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptlr>

Pengelolaan limbah radioaktif cair korosif aktivitas rendah sampai sedang dengan cara kimia (presipitasi, koagulasi, dan flokulasi). Kapasitas optimum dari unit *chemical treatment* adalah 0.5 m<sup>3</sup>/ hari dengan matriks semen di dalam wadah shell beton 950 Liter yang diberikan dalam Gambar 4.4.



**Gambar 4.4 Unit *Chemical Treatment***

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptlr>

PRTLRL melayani instalasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas setelah masa pemakaian di RSG-GAS berakhir. Bahan bakar bekas dipindahkan dari RSG-GAS melalui kanal hubung KH-IPSB3 yang diberikan dalam Gambar 4.5 yang kemudian disimpan pada penyimpanan basah menggunakan air bebas mineral pada kolam fasilitas KH-IPSB3 sebagai pendingin peluruhan panas yang diberikan dalam Gambar 4.6.



**Gambar 4.5 Kanal Hubung RSG-GAS ke IPSB3**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptlr>



**Gambar 4.6 Kolam IPSB3**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptlr>

PRTLRL juga memberikan layanan dekontaminasi pakaian kerja, shoes cover, peralatan kerja yang terkontaminsi dengan memperhatikan keselamatan kerja yang diberikan dalam Gambar 4.7 Unit dekontaminasi ini yang tersedia yaitu *sand blasting*, *water jetting*, *ultrasonic* dan perendaman dengan cairan kimia.



**Gambar 4.7 Unit Dekontaminasi**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptlr>

**d. PRSMN**

PRSMN 400 (empat ratus) meter dari DPFK mendukung berbagai kegiatan RSG-GAS. Dukungan tersebut berupa pengembangan standar bidang nuklir, layanan jaminan mutu nuklir, dan pembinaan penerapan standar iptek nuklir. Selain itu, dukungan diberikan kepada beberapa layanan seperti pengukuran penerapan standar iptek nuklir dan konsultasi sistem manajemen. Selanjutnya, dukungan juga diberikan pada upaya akreditasi dan sertifikasi sistem manajemen, sertifikasi personel, sertifikasi produk peralatan nuklir. Semua dukungan di atas merupakan upaya agar terwujud Iptek nuklir yang terjamin keselamatan, dan keamanan yang bermutu. Sehingga semua produk dapat dimanfaatkan untuk mendukung upaya peningkatan ekonomi, meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam koridor pelaksanaan pembangunan nasional.

Dalam Perumusan standar iptek nuklir, perumusan Standar Nasional Indonesia (SNI) merupakan salah satu kegiatan yang menjadi tugas PSMN. Pada SSN, PRSMN-BRIN merupakan instansi teknis yang melakukan beberapa kegiatan. Pertama adalah pengelolaan kegiatan pelaksanaan perumusan SNI di bidang Iptek nuklir dan, pelaksanaan kendali mutu. Selanjutnya memonitor hasil pelaksanaan proyek apakah memenuhi standar mutu atau tidak. Monitoring didukung dengan laboratorium pengujian dan/atau laboratorium kalibrasi yang selalu dipantau akreditasinya. Kegiatan sertifikasi produk Iptek nuklir dilakukan untuk memberikan jaminan bahwa produk Iptek nuklir telah memenuhi standar atau persyaratan yang ditentukan.

**e. PRRFN**

PRRFN diberikan dalam Gambar 4.8. PRRFN 300 m (tiga ratus meter) dari DPFK bertugas melaksanakan perumusan dan

pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, dan pembinaan dan bimbingan di bidang instrumentasi mempunyai tugas melaksanakan perancangan instrumentasi fasilitas nuklir; bidang elektromekanik dan kendali mempunyai tugas melaksanakan perancangan elektromekanik dan kendali fasilitas nuklir; dan bidang mekanik, struktur, dan proses mempunyai tugas melaksanakan perancangan di bidang mekanik, struktur, dan proses fasilitas nuklir.



**Gambar 4.8 Gedung PRRFN**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

**f. PRPIKSN**

PRPIKSN 88 m (delapan puluh delapan meter) dari DPFK bertugas mengelola KNS, bertugas melaksanakan pemantauan dosis personil dan lingkungan, serta pengelolaan kedaruratan nuklir tapak dan umum, dan pelayanan kawasan, kesehatan, keselamatan dan keamanan nuklir secara terpadu di KNS.

PRPIKSN diberikan dalam Gambar 4.9. PRPIKSN melakukan kegiatan pengamanan instalasi kawasan nuklir baik fisik, personil maupun material dengan menggunakan peralatan pengontrol keselamatan dan keamanan BSS-BRIN, disamping itu juga melakukan revitalisasi sarana penunjang instalasi kawasan, layanan kesehatan pegawai, layanan transportasi dan layanan administrasi.



**Gambar 4.9 Gedung PRPIKSN**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

**g. PRTRR**

PRTRR 400 m (empat ratus meter) dari DPFK bertugas melaksanakan perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, dan pembinaan dan bimbingan di bidang teknologi produksi radioisotop; pengembangan teknologi produksi radiofarmaka, pengelolaan siklotron dan keteknikan.

Hasil Litbang PRTRR, antara lain a). MIBI berfungsi sebagai alat diagnosis fungsi jantung. Teknologi ini digunakan untuk mendeteksi penyakit arteri koroner dan mengevaluasi fungsi *myocardial*. Kit MIBI (*methoxyisobutylisonitrile*) merupakan radiofarmaka untuk diagnosis perfusi miokard (otot jantung) dan diagnosis fungsi jantung; b). *methylene diphosphonate* (MDP) berfungsi untuk diagnosis kelainan pada tulang seperti mengetahui anak sebar tumor pada tulang, tumor tulang primer diberikan dalam Gambar 4.10, infeksi pada tulang dan penyakit metabolik tulang diberikan dalam Gambar 4.11.



**Gambar 4.10 Hasil Litbang PTRR (Diagnosa Kelainan Tulang)**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)



**Gambar 4.11 PRTRR**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

#### **h. PRSTBM**

PRSTBM 300 m (tiga ratus meter) dari DPFK bertugas melaksanakan melaksanakan perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, dan pembinaan dan bimbingan di bidang penelitian dan pengembangan bahan maju berbasis teknologi nuklir, sains bahan industri nuklir, dan teknologi berkas neutron.

PRSTBM menghasilkan beberapa prototipe bahan maju yang unggul dengan teknologi nuklir khususnya teknologi berkas neutron untuk aplikasi di bidang energi, kesehatan, keselamatan, keamanan dan lingkungan yang BRIN menjadi koordinator

kegiatan Prioritas Riset Nasional Litbangjirap PLTN, SPRKK, Radioisotop-Radiofarmaka. Selain itu, telah termanfaatkannya fasilitas teknologi berkas neutron untuk litbang bahan maju dalam kerangka pengembangan sumber daya iptek nasional.

**i. PRTBBN**

PRTBBN 400 m (empat ratus meter) dari DPFK bertugas melaksanakan perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, dan pembinaan dan bimbingan di bidang pengembangan teknologi Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir untuk melaksanakan pengembangan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir; teknologi uji radiometalurgi untuk melaksanakan pengembangan teknik uji radiometalurgi; dan pengembangan fasilitas bahan bakar nuklir untuk melaksanakan operasi, pemeliharaan dan pengembangan fasilitas elemen bakar nuklir dan fasilitas radiometalurgi.

Fasilitas yang dimiliki dalam mendukung tugas dan fungsi Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir meliputi IEBE diberikan pada Gambar 4.12 dan IRM diberikan pada Gambar 4.13 yang didesain untuk :

1. laboratorium produksi bahan bakar nuklir;
2. laboratorium uji bahan dan bahan bakar nuklir pasca iradiasi;
3. laboratorium pengujian bahan dan produk pra iradiasi;
4. instalasi tata udara dan ventilasi;
5. instalasi pasokan energi dan media;
6. fasilitas keselamatan umum dan keselamatan radiasi; dan
7. fasilitas bengkel mekanik.



**Gambar 4.12 IEBE**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptbbn>



**Gambar 4.13 IRM**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-ptbbn>

**j. DPFK**

DPFK bertugas melaksanakan penelitian dan pengembangan teknologi RSG-GAS, pengoperasian RSG-GAS, melaksanakan perawatan RSG-GAS, melakukan pelayanan iradiasi, melakukan pemantauan keselamatan kerja dan operasi RSG-GAS. DPFK yang sebelum bergabung dengan BRIN adalah PRSG berdasarkan Peraturan BRIN Nomor 1 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja, memberikan layanan yang berhubungan dengan Jasa Iradiasi Neutron, Jasa Iradiasi Batu Topaz dan Penyediaan Air Bebas Mineral kepada pelanggan. DPFK memiliki 2 (dua) fasilitas yang diklasifikasikan berdasarkan fungsinya sebagai fasilitas utama dan sebagai fasilitas

pendukung layanan publik. Fasilitas utama adalah fasilitas yang merupakan tugas pokok dan fungsi DPFK yaitu sebagai pelaksana dalam mengoperasikan serta memaksimalkan utilisasi dari RSG-GAS dan menerima kunjungan edukasi diberikan dalam Gambar 4.14. Fasilitas tersebut berada di dalam gedung RSG-GAS, sedangkan fasilitas pendukung layanan publik merupakan fasilitas umum yang berada di gedung perkantoran DPFK.



**Gambar 4.14 Ruang Di Sekitar Teras Reaktor**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

Fasilitas utama DPFK adalah fasilitas yang berhubungan langsung dengan fasilitas iradiasi neutron, serta pembuatan air bebas mineral sebagai suplai air baku sistem pendingin primer reaktor. Fasilitas tersebut, antara lain teras reaktor, silikon doping, rabbit system, tabung berkas neutron, dan pengelolaan air bebas mineral.

Fasilitas pendukung layanan publik DPFK adalah fasilitas yang dapat dimanfaatkan oleh para pengunjung dan pelanggan DPFK, antara lain ruang pertemuan, ruang tunggu, ruang layanan pengaduan, ruang laktasi, ruang bebas merokok, musholah, perpustakaan, area parkir untuk kendaraan, toilet, area parkir untuk menurunkan penumpang disabilitas, jalur khusus disabilitas.

#### 4.1.2 RSG-GAS

RSG-GAS adalah reaktor yang dikelola DPFK. DPFK dalam menjalankan tugas teknisnya yaitu pengoperasian reaktor dan melaksanakan layanan iradiasi neutron kepada para stakeholder dilakukan oleh bidang operasi reaktor yang terdiri atas: a). Subbidang Akutansi Bahan Nuklir bertugas melakukan pendataan (akutansi) perpindahan elemen bahan bakar/uranium, melakukan perhitungan manajemen teras reaktor RSG-GAS, serta melakukan segala sesuatu yang berkaitan dengan safeguards; b). Subbidang Perencanaan Operasi bertugas melaksanakan layanan iradiasi neutron dari stakeholder, serta merencanakan jadwal operasi reaktor RSG-GAS setiap tahunnya; c). Subbidang Pelaksanaan Operasi bertugas mengoperasikan reaktor RSG-GAS serta sistem pendukung lainnya.

RSG-GAS mempunyai bidang pemeliharaan reaktor, meliputi: a). subbidang mekanik bertugas melakukan pemeliharaan sistem mekanikal yang ada di sistem reaktor dan sistem pendukung reaktor; b). Subbidang elektrik bertugas melakukan pemeliharaan terhadap sistem elektikal yang ada di sistem reaktor dan sistem pendukung reaktor; c). subbidang instrumentasi dan kendali bertugas melakukan pemeliharaan sistem instrumentasi dan kendali yang ada di sistem reaktor dan sistem pendukung reaktor.

Bidang keselamatan kerja dan operasi dalam RSG-GAS memiliki tugas pokok melakukan pemantauan dan analisa terkait keselamatan kerja dan keandalan sistem pendukung dalam pengoperasian reaktor RSG-GAS. Dalam bidang ini, meliputi: a). Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi bertugas melakukan pendampingan dan analisa kepada para pekerja dalam melakukan tugasnya agar tetap mematuhi SOP yang ada terutama pekerjaan yang menyangkut radiasi; b). Subbidang Keselamatan Operasi bertugas melakukan pemantauan dan analisa dari sistem reaktor dan sistem pendukung reaktor agar dapat meyakinkan operasi reaktor dapat berjalan dengan lancar dan selamat.

RSG-GAS merupakan reaktor riset terbesar se-Asia Tenggara dengan kapasitas nominal yang dapat dibangkitkan sebesar 30 MW (tiga puluh mega watt) Thermal diberikan pada Gambar 4.15. Sesuai dengan jenisnya, reaktor ini bukan untuk menghasilkan daya listrik melainkan reaktor untuk riset. RSG-GAS dibangun sejak tahun 1983 oleh Interatom International yaitu salah satu perusahaan asal Jerman Barat. Setelah dicapai kritis pertama pada tanggal 29 Juli 1987, reaktor diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia ke-II (Jendral Besar TNI Purn. H. Muhammad Soeharto) pada tanggal 20 Agustus 1987.



**Gambar 4.15 Teras Reaktor**

Sumber: <https://www.slideserve.com/lazaro/reaktor-serba-guna-g-a-siwabessy-rsg-gas>

RSG-GAS dalam utilisasinya ditunjang oleh adanya fasilitas utama di dalam RSG-GAS, antara lain: a). fasilitas doping silikon sebagai fasilitas eksperimen dan penelitian yang dikembangkan menjadi fasilitas produksi untuk memenuhi kebutuhan industri seperti bahan pembuatan IC dan iradiasi batu topaz di luar teras reaktor dengan menggunakan tabung iradiasi tersendiri; b). *Rabbit system* adalah fasilitas iradiasi untuk kegiatan analisis material dan untuk memproduksi radioisotop; c). Tabung berkas neutron adalah fasilitas yang terpasang secara radial dari teras reaktor menuju pinggiran tangki reaktor yang akan menyalurkan paparan radiasi neutron dari teras menuju ke peralatan eksperimen yang terhubung pada ujung-ujung tabung berkas tersebut, digunakan untuk produksi isotop Iodine-125, pembuatan image radiografi, eksperimen berbasis

spektrometer neutron, eksperimen berbasis difraktometer neutron, dan eksperimen berbasis difraktometer neutron sudut sempit; d). Pengelolaan air bebas mineral adalah fasilitas pelayanan yang menyediakan air bebas mineral kepada pelanggan.

RSG-GAS menjadi fokus dalam penelitian ini karena RSG-GAS sebagai objek vital dalam KNS tergolong dalam kategori II (dua) karena daya thermal yang cukup besar yaitu 30 MW (tiga puluh mega watt) sehingga berpotensi menimbulkan lepasan radioaktif ke masyarakat sampai radius 5 km (lima kilo meter). Sehingga perlu dilakukan identifikasi kerentanan di sekitar tapak RSG-GAS.

Lokasi RSG-GAS terletak di kelurahan Muncul dengan luas 3,61 (tiga koma enam satu) kilo meter persegi mempunyai jumlah penduduk berdasarkan BPS pada tahun 2010 sebanyak 3.903 (tiga ribu sembilan ratus tiga) jiwa dan di tahun 2019 menunjukkan peningkatan signifikan jumlah penduduk sebanyak 5.452 (lima ribu empat ratus lima puluh dua) jiwa. Perkembangan jumlah penduduk pada radius 1 km dari tahun 2010 sampai 2019 diberikan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Tiap Desa Pada Radius 1 km  
Tahun 2010-2019**

No.	Desa/Kelurahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Jumlah Penduduk		
			2010	2013	2019
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1.	Keranggan	0,04	114	112	116
2.	Muncul	1,84	3.903	4.290	5.452
3.	Suradita	0,10	487	635	870
4.	Pabuaran	1,05	1.498	1.507	1.793
Keseluruhan		3,04	6.002	6.544	8.231

Sumber: BPS Kecamatan Setu (2021)

Dalam Tabel 4.2 terlihat bahwa dari tahun 2010 sampai tahun 2019 jumlah penduduk dalam radius 1 km (satu kilo meter) dari RSG-GAS terus meningkat, terutama jumlah penduduk desa Muncul lokasi keberadaan RSG-GAS sebanyak 5.452 jiwa.

Berdasarkan IRBI tahun 2019, diketahui bahwa Kota Tangsel sebagai wilayah administrasi RSG-GAS teridentifikasi mempunyai kelas risiko tinggi kebakaran lahan. Berdasarkan data dari LAK RSG-GAS, potensi bahaya yang disebabkan oleh sumber kombinasi, seperti truk tanki membawa BBM dan truk tanki membawa BBG melewati jalan puspiptek berpotensi mengalami kecelakaan. Potensi tersebut dapat menyebabkan jangkauan ledakan hingga 642 m untuk BBG dan 863 m untuk BBM yang cukup jauh dari kawasan hutan tropis mini. Dengan demikian potensi bahaya kombinasi termasuk kebakaran lahan tidak membahayakan tapak RSG-GAS.

Berdasarkan IRBI tahun 2019, diketahui bahwa Kota Tangsel sebagai wilayah administrasi RSG-GAS teridentifikasi mempunyai kelas risiko sedang terhadap bencana banjir. Berdasarkan hasil survei geologi dan geofisika (GPR, Geolistrik, MT Elektromagnetik, Refraksi Seismik, Refleksi Seismik, dan Magnetik) analisis gravitasi dalam radius 25 km, tidak ada indikasi kesalahan permukaan. Tapak RSG-GAS merupakan dataran rendah Jakarta yang umumnya merupakan deposit Alluvium, tapak RSG-GAS dengan ketinggian rata-rata  $\pm 60$  m (kurang lebih enam puluh kilo meter) di atas permukaan air laut. Sekitar 800 m (delapan ratus meter) sebelah Barat di luar kawasan PUSPIPTEK terdapat sungai Cisadane yang tinggi permukaan air sekitar 20 m (dua puluh meter) di bawah garis tapak. Sungai Cisadane adalah satu-satunya badan air yang dekat dengan tapak RSG-GAS. Daerah tangkapan sungai Cisadane di tapak RSG-GAS adalah 819,60 km<sup>2</sup>, panjang sungai sekitar 67,14 km dan kemiringan sungai relatif kecil. Secara geomorfologis, alur sungai Cisadane di daerah KNS dapat dikategorikan sebagai daerah kikisan

(*agradation*) baik kikisan yang terjadi pada dinding sungai (*bank erosion*) maupun kikisan pada dasar sungai.

Curah hujan wilayah dengan periode ulang 1.000 (seribu) tahun sebesar 317 mm (tiga ratus tujuh belas mili meter) menghasilkan debit banjir periode 1.000 (seribu) tahun sebesar 4025,3 m<sup>3</sup>/detik (empat ribu dua puluh lima koma tiga meter kubik perdetik). Banjir sungai Cisadane dengan periode ulang 1.000 (seribu) tahun tidak memberikan dampak terhadap tapak reaktor RSG-GAS. Jarak antara tapak RSG-GAS dengan wilayah banjir terdekat adalah ±145 (kurang lebih seratus empat puluh lima) meter. Studi hidrologi yang dilakukan RSG-GAS dengan instansi terkait dalam LAK menunjukkan bahwa daerah banjir sungai Cisadane dengan periode kembali 10.000 (sepuluh ribu) tahun tidak mencapai tapak RSG-GAS karena ketinggian banjir jauh lebih rendah dari pada elevasi tapak reaktor RSG-GAS. Lokasi tapak reaktor RSG-GAS tidak terpengaruh bahaya hidrologis lainnya seperti tsunami, gelombang, gelombang berdiri dan pasang air laut karena lokasinya yang cukup jauh dari laut atau pantai.

Berdasarkan IRBI tahun 2019, diketahui bahwa Kota Tangsel sebagai wilayah administrasi RSG-GAS teridentifikasi mempunyai kelas risiko sedang terhadap bencana longsor dengan skor 11.20. Pada aspek geoteknik di tapak RSG-GAS tidak terdapat potensi ketidakstabilan lereng, potensi keruntuhan, amblesan atau terangkatnya permukaan tapak, dan potensi likuifaksi tanah berdasarkan penelitian RSG-GAS dalam LAK.

Berdasarkan IRBI tahun 2019, diketahui bahwa Kota Tangsel sebagai wilayah administrasi RSG-GAS teridentifikasi mempunyai kelas risiko tinggi terhadap gempa bumi dengan skor 21.60. Berdasarkan LAK RSG-GAS, kondisi seismotektonik dalam radius 300 km (tiga ratus kilo meter), lokasi tapak RSG-GAS terletak di zona tektonik antara lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Hasil evaluasi tapak RSG-GAS yang meliputi analisis dan intepretasi data geologi dan geofisika dalam radius 25 km (dua puluh lima kilo meter) serta data gempa, data deformasi, dan

paleoseismologi atau parit uji menunjukkan bahwa, tapak RSG-GAS tidak terdapat patahan kapabel dan patahan permukaan dalam radius 5 km (lima kilo meter). Di laporan keselamatan RSG-GAS juga menjelaskan bahwa RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 (lima ratus ribu) tahun (kuarter). Keterkaitan dengan gempa besar yaitu skala > 6 Richter (lebih dari enam skala richter) di tapak reaktor RSG-GAS belum pernah terjadi, sesuai pemantauan instrumen gempa milik BRIN fokus pada radius 5 km dan juga berdasarkan katalog USGS dan BMKG.

Berdasarkan IRBI tahun 2019, diketahui bahwa Kota Tangsel sebagai wilayah administrasi RSG-GAS teridentifikasi mempunyai kelas risiko tinggi terhadap cuaca ekstrim dengan skor 13.60. Kondisi cuaca/iklim di RSG-GAS dapat diperoleh berdasarkan data meteorologi 2010-2014 dari Stasiun BMKG Cengkareng, Curug dan Pondok Betung-Ciledug. Data meteorologi diukur menggunakan instrumen thermometer pada ketinggian standar 2 (dua) meter sehingga diperoleh data suhu udara yang diberikan dalam Tabel 4.3.

**Tabel 4.3 Suhu Udara dari Stasiun BMKG Cengkareng, Curug dan Pondok Betung-Ciledug**

<b>Stasiun Meteorologi</b>	<b>Minimum</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Maksimum</b>
Cengkareng	23,8°C–24,8°C	26,7°C–28,1°C	30,2°C–33,2°C
Curug	22,4°C–23,9°C	27,1°C–26,0°C	30,2°C–33,3°C
Pondok Betung	23,9°C–24,7°C	26,6°C–28,4°C	31,0°C–34,0°C

Sumber: diolah Peneliti (2021)

Berdasarkan Tabel 4.3 suhu udara dari Stasiun BMKG Cengkareng, Curug dan Pondok Betung-Ciledug menggambarkan bahwa udara di sekitar RSG-GAS masih bersifat aman. Berdasarkan katalog BNPB tentang kejadian puting beliung dari tahun 2004 sampai dengan 2014 tercatat 64 (enam puluh empat) kejadian Puting Beliung disekitar lokasi tapak dengan probabilitas kejadian 6-16% (enam sampai enam belas

persen) setiap bulan, kecuali Agustus, September dan Desember di bawah 2% (dua persen). Lokasi kejadian tersebar di Tangerang, Lebak, Pandeglang, Serang dan kota Cilegon. Dari tiga contoh kasus kejadian Puting Beliung di sekitar lokasi tapak yaitu di Serang, dilakukan analisis parameter meteorologi menggunakan data stasiun meteorologi dimana kecepatan angin maksimum yang tercatat adalah 7.2 m/s (=16.1 mph =25.9 km/h). Dengan menggunakan skala Fujita, kejadian Puting Beliung hanya masuk dalam skala 0 (estimasi kecepatan 105-137 km/h) yaitu dengan kerusakan ringan (*light*). Mengacu pada Fujita (1971) yang diberikan pada Tabel 4.4, lintasan kerusakan Puting Beliung umumnya tidak mencapai 2 km dengan waktu hidup di bawah 5 menit. Karena itu, dengan menggunakan *EF Scale* dan mempertimbangkan kondisi fisis Indonesia, Puting Beliung tidak akan mencapai *EF Scale* kelas 2 yang artinya kuat (*considerable*). Analisis tersebut, dilakukan oleh RSG-GAS untuk memastikan bahwa lokasi tapak RSG-GAS aman terhadap bahaya alam (bahaya eksternal).

**Tabel 4.4 Skala Fujita (*EF-Scale*) Untuk Tornado (Puting Beliung)**

EF Classes	Kecepatan angina (estimasi)		Kerusakan
	mph	Km/h	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
0	65-85	105-137	Ringan ( <i>Light</i> )
1	86-110	138-178	Sedang ( <i>Moderate</i> )
2	111-135	179-218	Kuat ( <i>Considerable</i> )
3	136-165	219-266	Sangat Kuat ( <i>Severe</i> )
4	166-200	267-322	Hancur ( <i>Devastating</i> )

Sumber: Dokumentasi DPFK-BRIN dalam Kuntoro (2017)

## 4.2 Hasil Pengumpulan Data

Hasil pengumpulan data diperoleh melalui wawancara mendalam (*in depth interview*) terhadap para narasumber sebagaimana dijelaskan di

Bagian 3.3.1. Selain itu, data juga diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan (*participant observation*), studi dokumen terhadap beberapa Peraturan Perundang-undangan dokumen terkait: 1). Mitigasi struktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS; 2). mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS; 3). *lessons learned* kejadian bencana PLTN Fukushima Daiichi terhadap upaya mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS.

#### 4.2.1 Mitigasi Struktural

Mitigasi menurut ZK “mitigasi adalah upaya untuk mengurangi dampak risiko lepasan radioaktif ke masyarakat” (komunikasi personal, 18 Oktober 2021). RB menjelaskan “mitigasi sebagai penyiapan sumber daya untuk mencegah bencana” (komunikasi personal, 21 Oktober 2021). Pengertian yang sama:

*“Tindakan mitigasi sesuai dengan perka 1 tahun 2010 yaitu untuk mencegah eskalasi bahaya radiologi; mengembalikan fasilitas atau instalasi ke keadaan selamat dan stabil, mengurangi potensi lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi; dan memitigasi dampak lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi. Upaya ini sejalan dengan upaya pertahanan berlapis yang diuraikan perka 1 tahun 2010.”* (RE, komunikasi personal, 24 Desember 2021)

Penjelasan tersebut memberi informasi, bahwa RSG-GAS dilapisi sistem pertahanan yang tidak hanya satu tetapi beberapa lapisan untuk mengurangi risiko yang diakibatkan dari bahaya internal dan eksternal yang dikerjakan pada:

*“Mitigasi mulai dilakukan oleh RSG-GAS jauh sebelum RSG-GAS dibangun tepatnya sebelum ditetapkannya tapak/lokasi pembangunan RSG-GAS, dilakukan evaluasi karakteristik tapak yang tidak hanya mempertimbangkan faktor kebumihan namun juga*

*faktor cuaca dan demografi*” (MS, komunikasi personal, 22 Oktober 2021).

Hal yang sama dipertegas HS (komunikasi personal, 20 Oktober 2021), “sebelum mendesain reaktor dilakukan evaluasi tapak, ada enam aspek yang harus dipertimbangkan, salah satunya adalah aspek seismik, sehingga harus mengonversi agar desainnya tahan dari gempa”. RE juga menjelaskan bahwa:

*“Izin tapak akan diberikan oleh BAPETEN selaku pengawas pemanfaatan ketenaganukliran, apabila telah melakukan kegiatan evaluasi karakteristik tapak dengan memperhatikan aspek kegempaan, kegunungpian, geoteknik, meteorologi dan hidrologi, ulah manusia, dan dispersi zat radioaktif (komunikasi personal, 24 Desember 2021)”*.

Oleh karena itu, HS (komunikasi personal, 20 Oktober 2021) menilai bahwa “pada tahap analisis keselamatan evaluasi tapak sudah sangat berat prosesnya karena Pemohon Izin tapak RSG-GAS sudah harus melakukan analisis bahaya yang berasal dari eksternal dan internal sebelum izin tapak didapatkan dari BAPETEN”.

Dari ketiga informan tersebut evaluasi tapak merupakan aspek penting yang harus dilakukan sebagai dasar dalam desain dan struktur bangunan RSG-GAS. HS (komunikasi personal, 20 Oktober 2021), “akurasi evaluasi tapak sangat dibutuhkan sebagai upaya mitigasi”. Saat ini RSG-GAS pada tahap operasi mempertimbangkan evaluasi tapak. RE, menyatakan:

*“RSG-GAS tetap melakukan pemantauan tapak yang dilaporkan ke Bapeten dalam dokumen LAK (LAK) di Bab III berisi Karakteristik Tapak dan Bab XIV berisi Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan. LAK merupakan dokumen evaluasi tapak menjadi syarat dalam pengajuan izin tapak dan desain, serta pada pengajuan izin konstruksi hingga saat ini tahap operasi, RSG-GAS mempunyai kewajiban dalam melakukan pemutakhiran evaluasi tapak yang dilaporkan ke Bapeten dalam LAK”* (komunikasi personal, 24 Desember 2021).

Dari informasi yang diberikan, LAK merupakan dokumen yang sangat penting berisi karakteristik evaluasi tapak digunakan sebagai

persyaratan keselamatan RSG-GAS. Upaya pencegahan dan pengurangan risiko untuk mencegah eskalasi bahaya radiologi dari informasi didapat dengan sistem *defence in depth*. Sistem pertahanan ini mempunyai lima lapis tindakan sebagai upaya mitigasi kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS. Dalam Sub bab ini akan memberikan informasi yang didapat dari lapangan terkait mitigasi yang dilakukan RSG-GAS, antara lain desain, struktur, sistem deteksi, Peraturan PerUUan, pelatihan, dan sosialisasi.

#### 4.2.1.1 Desain

Desain termasuk mitigasi struktural untuk menghadapi kegagalan teknologi nuklir dalam lapis pertama *defence in depth*. Berdasarkan IK, “RSG-GAS dibangun dengan desain yang konservatif untuk tujuan operasi yang handal dan aman agar mampu mencegah kondisi operasi abnormal dan mencegah kegagalan”. Rincian desain RSG-GAS untuk mencegah kondisi abnormal dan mencegah kegagalan, peneliti berikan dalam Tabel 4.5 berdasarkan sumber dokumentasi yang peneliti dapatkan.

**Tabel 4.5 Desain Sistem Reaktor RSG-GAS**

No.	Sistem Reaktor	Keterangan	Aspek
1	2	3	4
1.	Daya reaktor	30 MW	
2.	Ruang kendali	Tersedia 2 buah, RKU dan RKD	Keandalan
3.	Teras	Koefisien reaktivitas negatif, marjin reaktivitas padam besar Supaya ketika suhunya naik terus otomatis akan turun	Inheren, marjin tinggi
4.	Sistem Pendingin	Kapasitas 32 MW, 2 lajur sistem bantu	Keandalan, marjin tinggi

1	2	3	4
5.	Sistem Instrumentasi dan Kendali	Sistem pemantau, proses, proteksi dan kendali, komponen keselamatan	Keandalan
6.	Sistem Ventilasi	Dibagi dalam beberapa daerah sesuai tingkat radiasi dan fungsi keselamatan	Keselamatan
7.	Sistem Proteksi Radiasi	Memantau paparan dan aktivitas radiasi di tiap ruang dan sistem	Keandalan, keselamatan
8.	Sistem Listrik	PLN 3 lajur, UPS, 3 Diesel	Keandalan
9.	Bangunan reaktor	Tahan gempa 0,25 g	Keselamatan
10.	Sistem Mutu	Dibagi dalam 3 kelas, AS1, AS2 dan Industri, contoh pada Tabel 6.	Keandalan, mutu tinggi
11.	Sistem limbah	Zero release, tak ada pelepasan limbah ke lingkungan	Keselamatan

Sumber: Iman Kuntoro (2017)

Dalam Tabel 4.5 terlihat bahwa desain RSG-GAS dirancang handal dengan daya 30 (tiga puluh) Mega Watt dengan sistem listrik yang redundansi dari PLN 3 (tiga) lajur dan dari cadangan lainnya, antara lain UPS, 3 (tiga) Diesel. RSG-GAS menurut MS:

*“didesain dengan volume teras yang besar sehingga dapat menyerap panas reaktor secara alami, dengan daya 30 MW (tiga puluh mega watt) ketika shutdown mendadak masih terdapat panas sisa di reaktor, namun panas tersebut dapat didinginkan dengan sirkulasi alam dari udara yang berasal di atas teras reaktor bervolume besar sehingga dapat menyerap panasnya sebagian” (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).*

RSG-GAS berdasarkan IK (komunikasi personal, 17 Oktober 2021), “didesain dengan kemudahan pengoperasian dan perawatan yaitu dengan

adanya dua RKU dan RKD. Dengan adanya ruang kendali memudahkan operator untuk mempertahankan daya reaktor. MS, dari ruang kendali dapat memadamkan reaktor dan mempertahankan kondisi sub-kritis, untuk mempertahankan daya reaktor secara otomatis pada tingkat daya tertentu (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).

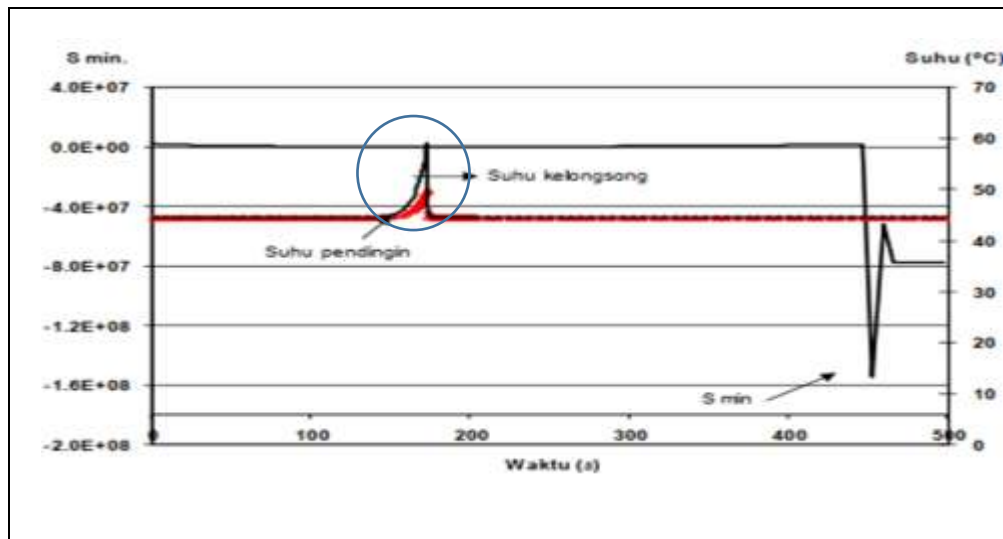
Informasi yang diberikan dua responden, RKD merupakan tempat pemantauan dan pengendalian jika RKU mengalami kegagalan karena adanya kecelakaan. MS, semua fungsi yang berhubungan dengan keselamatan dapat dijalankan dan dipantau di ruangan kendali (komunikasi personal, 22 Oktober 2021). RKD dan RKU diberikan dalam Gambar 4.16.



**Gambar 4.16 RKD (kanan) dan RKU (kiri)**

Sumber: dokumentasi DPFK-BRIN

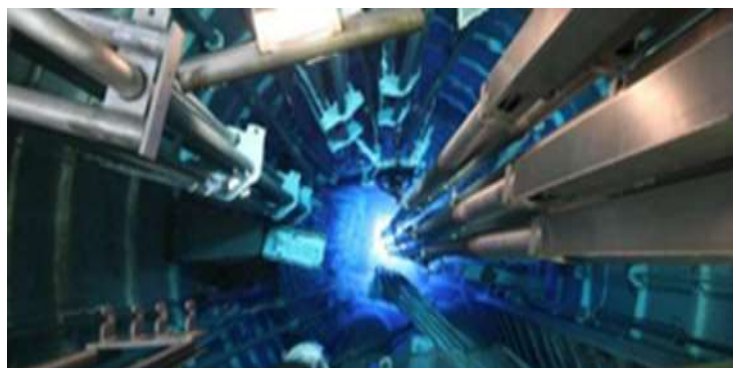
Dari ruang kendali dapat mengetahui kondisi RSG-GAS, berdasarkan MS juga dapat diketahui “kondisi Teras RSG-GAS karena didesain mempunyai koefisien reaktivitas negatif dan margin reaktivitas padam besar agar ketika terjadi kegagalan dan suhu naik terus menerus secara otomatis akan turun”. Kondisi teras ditunjukkan dalam Gambar 4.17 Dalam Gambar 4.18 diketahui bahwa ketika kelongsong reaktor naik dengan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  secara otomatis mampu memproteksi dirinya tanpa bantuan sistem lain.



**Gambar 4.17 Koefisien Reaktivitas**

Sumber: Kuntoro (2017)

Dalam dokumen LAK Bab 4 dan Bab 16, kolam reaktor dalam didesain berbentuk silinder merupakan bagian integral dari gedung RSG-GAS yang tahan terhadap gempa, semua komponen kolam reaktor terbuat dari aluminium, baja tahan karat diberikan dalam Gambar 4.13. Kolam reaktor didesain sekelilingnya dari komponen beton kedap air bahkan pada beban seismik sehingga ketinggian permukaan air minimum kolam reaktor dapat dipertahankan.



**Gambar 4.18 Kolam RSG-GAS**

Sumber: <https://www.riau1.com/berita/nasional/1550407315Reaktor-Nuklir-Indonesia-Masih-Berfungsi-Baik-di-Usia-54-Tahun>

Tahun 2018, dilakukan revitalisasi *cooling tower* yang baru memiliki tipe sama dengan cooling tower di RSG-GAS sebelumnya, hanya terdapat

beberapa perbedaan, antara lain: *cooling tower* yang baru lebih tinggi, jumlah blade lebih banyak, gearbox dan sistem transmisinya, serta sistem distribusi air. Dengan kemampuan pompa PA-04 yang mempunyai kapasitas 100 m<sup>3</sup>/h, maka dapat dipastikan bahwa pompa PA-04 masih mampu untuk mengkompensasi kehilangan air di *cooling tower*. (Busono, 2020). Jurnal revitalisasi cooling tower diberikan dalam Gambar 4.19.



**Gambar 4.19 Publikasi Revitalisasi Pada Cooling Tower RSG-GAS**

Sumber: Busono (2020)

RSG-GAS didesain mampu terhadap bahaya internal dan eksternal. Bahaya internal berupa kebakaran atau ledakan, menurut IK (komunikasi personal, 17 Oktober 2021) “RSG-GAS didesain tahan kebakaran dan ditempatkan di ruang yang ketahanan bakarnya tinggi, pada sistem ventilasi terdapat sistem isolasi per daerah bila terjadi kebakaran”. Untuk bahaya eksternal diatur dalam peraturan BAPETEN, meliputi aspek kegempaan, kegunungapian, geoteknik, meteorologi dan hidrologi, ulah manusia, dan dispersi zat radioaktif, hal yang sama dipertegas RE dalam komunikasi personal, 24 Desember 2021.

RSG-GAS berdasarkan MS (komunikasi personal, 22 Oktober 2021), “pada tahun 1980 didesain tahan gempa sampai 0,25 G (percepatan tanah 2,5 m/s<sup>2</sup>) untuk gedung, sistem dan komponen yang mempunyai

fungsi keselamatan”. Informasi tersebut diperkuat dalam analisis dan interpretasi data geologi, geofisika, data gempa, data deformasi, dan paleoseismologi atau parit uji yang peneliti temui dalam LAK RSG-GAS Bab 4 bahwa di tapak RSG-GAS, tidak terdapat patahan kapabel dan patahan permukaan dalam radius 5 km dalam penelitian DPFK-BRIN sehingga RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter). Gempa besar dengan skala lebih dari enam skala richter (skala > 6 Richter) di tapak RSG-GAS belum pernah terjadi sesuai pemantauan instrumen gempa milik DPFK-BRIN yang fokus pada radius 5 (lima) kilo meter dan juga berdasarkan katalog USGS dan BMKG.

Dalam dokumen LAK, dijelaskan bahwa gedung reaktor didesain sesuai dengan *safe shut-down earthquake* (SSE) dan atap rata diberikan dalam Gambar 4.20. Selain itu, desain RSG-GAS dilengkapi isolasi panas dan lantai bawah tanah yang berperedam. Didukung prinsip *fail-safe* dalam reaktor menurut IK:

*“Apabila terjadi gempa besar mengakibatkan kegagalan sistem reaktor akan membuat reaktor scram (padam secara pancung) secara otomatis sehingga kriteria keselamatan dipenuhi, ditambah RSG-GAS telah didesain dan dibangun secara rangkap (fungsi redundansi), baik rangkap 2 atau 3 untuk mempertahankan semua sistem dan komponen RSG-GAS agar tetap selamat, termasuk sistem penyedia daya darurat dan sistem pompa pendingin primer (komunikasi personal, 17 Oktober 2021).*



**Gambar 4.20 Bangunan DPFK Pengelola RSG-GAS**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

Prinsip *fail-safe* diberikan pada sistem penyedia daya darurat untuk diberlakukan apabila yang lainnya rusak diberikan dalam Gambar 4.21.



**Gambar 4.21 Tiga Buah Pompa Pendingin Primer RSG-GAS (kanan) dan Tiga Buah Diesel Generator RSG-GAS (kiri)**

Sumber: <https://docplayer.info/74058115-Keselamatan-reaktor-nuklir-reaktor-serba-guna-g-a-siwabessy-rsg-gas.html>

Berdasarkan HS, “prinsip sistem kelistrikan di RSG-GAS tidak hanya mengandalkan sumber dari PLN, juga ada sistem *backup* yaitu berbentuk baterai yang menjalankan fungsinya agar tetap online, misalnya sistem yang tetap online adalah monitor radiasi, dan *display* status di kontrol room tidak boleh mati” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021). MS mengatakan:

*Sistem backup PLN adalah genset darurat, sifatnya adalah mensuplay sistem-sistem yang diperlukan, tidak untuk mengoperasikan reaktor tapi diperlukan setelah reaktor shutdown/scram maka panas tersisa masih tetap harus disirkulasikan sehingga genset tersebut untuk memfungsikan sistem pendingin. Untuk jangka panjang, di genset darurat bawah tanah ada tangki yang isinya solar bisa digunakan beberapa hari, hal ini sudah masuk dalam kajian analisis keselamatan (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).*

Sistem kelistrikan di RSG-GAS terdiri dari catu daya utama, catu daya darurat dan catu daya tak putus atau UPS, dengan sumber energi batere. Terjadi kerusakan pada 1 bank batere BT03 sehingga dilakukan revitalisasi batere BT03 sejumlah 111 batere, bertujuan mengembalikan unjuk kerja batere sebagai catu daya listrik (Saepullah, 2013) diberikan dalam publikasi pada Gambar 4.22.



**Gambar 4.22 Publikasi Revitalisasi Baterre Di RSG-GAS**

Sumber: Saepullah (2013)

Untuk menetralkan panas tersisa IK, “setiap ruangan memiliki sistem ventilasi masing-masing. Di dalam setiap ruangan dapat bekerja lebih dari satu sistem ventilasi. Sistem ventilasi dilengkapi dengan pre-filter, HEPA filter dan charcoal filter. Pemantauan radioaktivitas dilakukan pada setiap ruangan dan pada saluran sebelum cerobong” (komunikasi personal, 17 Oktober 2021)

Desain RSG-GAS menjadi persyaratan yang harus dipenuhi sebelum mengajukan permohonan izin konstruksi. HS menyatakan

*“setelah pemohon izin tapak memenuhi persyaratan evaluasi tapak dan persyaratan lainnya sehingga mendapatkan izin tapak dan ingin mengajukan izin konstruksi maka pemohon izin terlebih dahulu mengajukan persetujuan desain kepada BAPETEN, yang berisi dokumen analisis keselamatan dan dokumen desain rinci reaktor nuklir. Desain rinci reaktor nuklir yang akan dibangun dijabarkan dalam dokumen, berisi spesifikasi bahan dan komponen yang akan digunakan untuk konstruksi dengan dirinci proses pembuatan komponen tersebut dan tentunya memuat gambar dengan dimensi dan skala yang menjadi dasar kegiatan konstruksi”* (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).

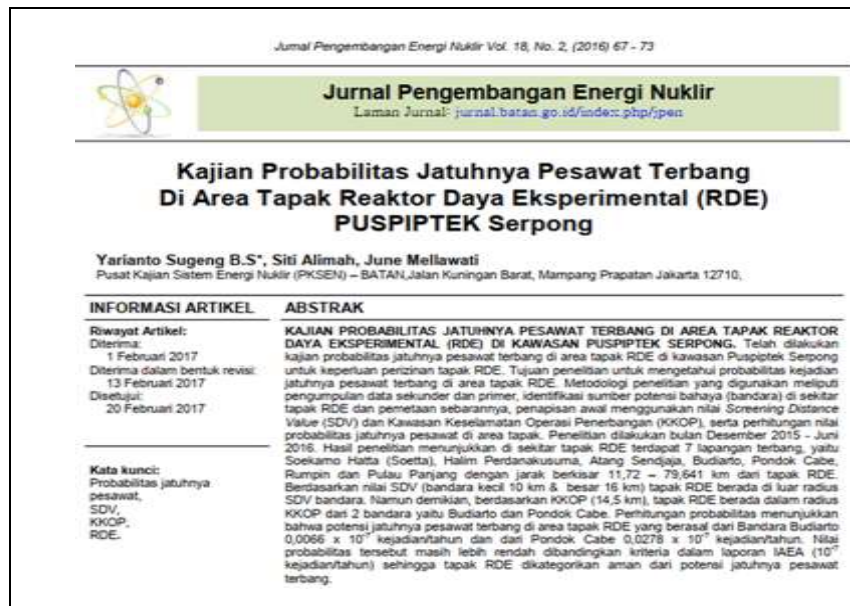
Informasi dari responden, bahwa desain merupakan faktor penting dari ketahanan RSG-GAS terhadap bahaya internal dan eksternal baik yang berasal dari alam atau buatan manusia. Desain RSG-GAS dibuat dengan konsep mitigasi, dengan kekuatan berlapis-lapis untuk mengurangi risiko lepasan radioaktif.

#### 4.2.1.2 Struktur

Struktur RSG-GAS merupakan *defence indepth* lapis pertama untuk mencegah kegagalan dan kejadian operasi terantisipasi yang dilakukan dengan konstruksi yang bermutu. EN menjelaskan, struktur jalanan di wilayah KNS selalu diperbaiki untuk mencegah risiko banjir atau risiko lainnya yang dapat mengancam RSG-GAS analisis ketahanan gedung dan struktur penunjang (komunikasi personal, 1 November 2021). RB, “objek vital dari KNS adalah RSG-GAS” (komunikasi personal, 21 Oktober 2021), oleh karena itu struktur bangunan RSG-GAS dibangun dengan kekuatan yang handal, menurut MS:

*“RSG-GAS dibangun sesuai desain yang telah ditetapkan dan disetujui oleh BAPETEN, misalnya mengingat tapak RSG-GAS terletak pada wilayah sekitar lintasan pesawat terbang dari lapangan udara pondok Cabe dan PLP Curug, maka struktur dinding RSG-GAS dibangun dengan ketebalan  $\pm 1$  meter (kurang lebih satu meter) agar tahan terhadap benturan pesawat yang menimpa gedung reaktor“* (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).

Mitigasi untuk kejatuhan pesawat juga dilakukan dengan menganalisis probabilitas kejatuhan pesawat dari bandara terdekat sekitar tapak dalam penelitian Sugeng (2016) yang diberikan pada Gambar 4.23.



**Gambar 4.23 Publikasi Tentang Analisis Probabilistik Kejatuhan Pesawat di RSG-GAS**

Sumber: Sugeng (2016)

Pada saat konstruksi menurut RE, juga “dilakukan pemutakhiran informasi evaluasi terhadap karakteristik tapak dari bahaya internal dan eksternal yang dilaporkan kepada Bapeten dalam dokumen LAK, sebagai upaya pertimbangan penguatan struktur bangunan RSG-GAS” (komunikasi personal, 24 Desember 2021). Dalam dokumen LAK RSG-GAS Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS, mempunyai ketahanan terhadap bahaya internal berupa kebakaran atau ledakan, kejadian kebocoran dan sistem pendingin atau banjir di dalam gedung, kehilangan sistem pendukung, insiden akses pengamanan, dan kejadian dari fasilitas eksperimen. Sedangkan untuk kemampuan ketahanan terhadap bahaya eksternal, struktur RSG-GAS mampu terhadap ancaman gempa bumi, banjir, topan, badai, angin ribut, dan petir, tubrukan pesawat.

Dalam LAK RSG-GAS Bab 2 mengenai Tujuan Keselamatan dan Persyaratan Desain Teknis, struktur dinding, penetrasi RGS-GAS dibangun dalam bentuk sekat-sekat api bertujuan sedini mungkin untuk membatasi kerusakan akibat kebakaran dan dan melokalisir bahaya yang mungkin terjadi, lintasan melalui dinding penahan api dengan kategori

ketahanan api FR90 dilindungi oleh pintu proteksi kebakaran FR90. Dalam LAK Bab 16 mengenai Analisis Keselamatan RSG-GAS, struktur pengungku kolam memiliki spesifikasi beton penyusun struktur difabrikasi dengan kualifikasi anti bocor. Selain itu, struktur RSG-GAS dapat menahan terhadap ancaman gangguan angin dari Siklon Tropis di sekitar wilayah Indonesia, karena sudah mempertimbangkan faktor terpaan angin dalam standar Jerman DIN 1055 bagian 4 (empat).

Struktur pondasi gedung RSG-GAS menurut IK:

*“Dibangun kedap terhadap air untuk menjamin tidak ada radionuklida di dalam air yang secara kebetulan dibebaskan di dalam gedung reaktor yang dapat bocor ke dalam tanah. Struktur bangunan dari pengungku keselamatan dan semua komponen untuk mempertahankan tekanan negatif di dalam gedung bersifat kedap dan dirancang tahan gempa, antara lain: Katup isolasi gedung, Penetrasi gedung, Pintu-pintu udara staf/personil, Pintu-pintu udara material, dan Sistem penyedia tekanan rendah”* (komunikasi personal, 17 Oktober 2021).

Dalam dokumen LAK Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS, untuk mengetahui kondisi struktur RSG-GAS dilakukan pemeriksaan dan pengujian struktur RSG-GAS oleh tim inspeksi B2TKS-BPPT tahun 2019, dengan hasil nilai mutu beton rata-rata hasil pengujian metode *Hammer test* dan UPV test pada struktur gedung reaktor RSG-GAS memenuhi nilai spesifikasi pada as built drawing. Hasil analisis struktur RSG-GAS menunjukkan masih aman dan memenuhi syarat kekuatan SNI 2847:2013. Untuk membatasi atau mencegah kebocoran dari kolam reaktor bahkan pada kondisi-kondisi seismik, pada ketinggian sampai 7,75 m (tujuh koma tujuh puluh lima meter) secara khusus disekat oleh *joint-sheet* dan Beton tahan air sesuai dengan DIN 1048. Semua sambungan dan penetrasi di bentuk dari lapisan-lapisan dengan ketebalan maksimum 50 cm yang dipadatkan.

RSG-GAS dalam LAK Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS, mempunyai ketahanan gedung dan struktur penunjang RSG-GAS dari desain Interatom pada tahun 1980 tahan gempa sampai 0,25 G (percepatan tanah 2,5 m/s<sup>2</sup>) diberikan dalam Gambar 4.24,

mempertimbangkan korelasi fungsi Atenuasi untuk percepatan puncak gempa pada analisis deterministik dan periode ulang kegunaan. Perisai di dalam gedung reaktor menggunakan Beton kerapatan tinggi. Kolam reaktor dan kolam penyimpanan sementara bahan bakar teriradiasi dilapisi dengan lapisan Baja tahan karat. Daerah hot cell, poros pemindah, dan bagian kanal penghubung di dalam gedung reaktor dilapisi dengan Baja tahan karat. Semua dinding di daerah yang berpotensi terkena kontaminasi (daerah pengendalian) dilapisi dengan cat resin epoxy agar mudah dilakukan dekontaminasi.



**Gambar 4.24 Pembangunan RSG-GAS Pada Tahun 1983**

Sumber: Kuntoro (2017)

#### **4.2.1.3 Sistem Deteksi**

Sistem deteksi merupakan *defence in depth* lapis kedua untuk deteksi kegagalan yang dilakukan dengan sistem pengendalian, pembatasan, proteksi atau fitur keselamatan. Berdasarkan MS:

*“sistem monitoring gempa di RSG-GAS berdasarkan safety standard series No. NS-G-1.6. Fungsi sistem monitor gempa reaktor RSG-GAS adalah untuk mendeteksi, mengukur, dan menginformasikan kejadian gempa yang terjadi di lokasi reaktor RSG-GAS ke RKU dan RKD, dan petugas operator/supervisor reaktor dapat mengambil tindakan keselamatan (scram) jika dipertimbangkan getaran gempa cukup besar”* (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).

Untuk mengantisipasi kebakaran gedung RSG-GAS dilengkapi proteksi kebakaran. Sistem deteksi kebakaran menurut IK, “RSG-GAS juga dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran reaktor, semua lokasi RSG-GAS dipasang sistem monitor atau alarm dan peralatan pemadam yang sesuai dengan bahan yang ada di dalamnya” (komunikasi personal, 17 Oktober 2021). Sistem deteksi kebakaran dilakukan revitalisasi agar sistem dapat bekerja secara baik dalam mendeteksi kebakaran. Sistem terdiri atas 4 jenis sensor yaitu sensor aktif berupa sensor asap dan suhu, sensor asap berupa kamera, sensor pasif berupa kotak alarm manual (*manual call point*), dan sensor jalur alarm (*alarm line*). Keempat jenis sensor ini dipasang mengelilingi jalur alarm kebakaran seluruh gedung di PRSG dan mengirim sinyal ke panel kendali alarm kebakaran kemudian alarm tersebut ditampilkan pada panel tegak di Ruang Kendali Utama (RKU) (Gusman, 2020) ditemukan dalam publikasi pada Gambar 4.25.



**Gambar 4.25 Publikasi Revitalisasi Sistem Kebakaran di RSG-GAS**

Sumber: Gusman (2020)

Untuk mencegah lepasan radioaktif ke lingkungan, RSG-GAS melengkapi keamanannya dengan sistem deteksi radiasi. Menurut PZ sebagai Guru Besar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB menyatakan,

*“Penting adanya sistem deteksi yang dapat diakses masyarakat dengan mudah di sekitar RSG-GAS agar masyarakat sekitar terjamin keselamatannya. Sistem deteksi atau monitor nilai lepasan radioaktif sebagai informasi untuk masyarakat dapat ditunjang Artificial intelligence jadi apabila lepasan radioaktif sudah melebihi nilai ambang batas untuk masyarakat, informasi diberikan dalam bentuk pengeras suara memberitahu “awas/waspada/darurat”, dengan demikian masyarakat terinformasi sejak dini dan dapat mengurangi risiko” (komunikasi personal, 26 Oktober 2021).*

Untuk menjamin keselamatan masyarakat terhadap bahaya lepasan radioaktif, RSG-GAS dilengkapi sistem deteksi radiasi. RSG-GAS memiliki deteksi radiasi. Menurut MS:

*“apabila terjadi kegagalan dan terjadi paparan radiasi tinggi ke luar dari kolam reaktor, dapat segera diketahui dengan sistem proteksi radiasi karena setiap petugas/pekerja dalam area radioaktif dilengkapi dengan dosimeter personal dan peralatan proteksi. Selain itu, sistem deteksi yang terpasang pada ruangan dalam reaktor bertujuan memantau paparan dan aktivitas radiasi di tiap ruang dan sistem” (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).*

Sistem deteksi radiasi diberikan dalam Gambar 4.26 Dari alat tersebut, pekerja atau petugas IBN dapat melakukan mitigasi apabila radiasi terdeteksi melampaui ambang batas atau terdeteksi tingkat di atas normal, sehingga dapat melakukan pencegahan radiasi ke luar lingkungan.



**Gambar 4.26 Sistem Proteksi Radiasi Di Dalam Reaktor**

Sumber: Dokumentasi DPFK-BRIN (2021)

Dari dokumentasi yang ditemui peneliti salah satunya bersumber dari LAK RSG-GAS Bab 12 mengenai Keselamatan Radiasi RSG-GAS, sistem deteksi radiasi akan selalu terpantau dari petugas/personil yang bekerja dalam area radioaktif karena setiap personil dilengkapi minimal 2 (dua) alat detektor radiasi yang disebut dosimeter yang ditempelkan di saku pakaian sebelum memasuki gedung reaktor. Setelah setiap kali personil memasuki gedung reaktor, Petugas Proteksi Radiasi membaca dosimeter personil dan menuliskan nilai dosis terakumulasi ke indeks kartu untuk dievaluasi setiap bulan.

Sistem pendingin primer reaktor berdasarkan dokumen LAK Bab 16 mengenai Analisis Keselamatan RSG-GAS juga dilengkapi alat deteksi radiasi yang dilengkapi dengan alarm, dan dihubungkan dengan ruang kendali utama (RKU), berguna untuk memantau radioaktivitas secara terus-menerus. Apabila nilai batas alarm yang ditetapkan terlampaui, operator akan mematikan reaktor dan mengisolasi unit penukar panas. Dalam LAK Bab 2 mengenai Tujuan Keselamatan RSG-GAS, telah dilengkapi sistem pemantauan parameter keselamatan reaktor yang tersedia di ruang sistem primer, yaitu sistem deteksi kegagalan bahan bakar FFDS yang dapat mendeteksi secara dini pelepasan gas fisi dari bahan bakar yang rusak.

Untuk mengetahui lepasan radioaktif cenderung ke wilayah mana menurut RB:

*“RSG-GAS memiliki data angin utama, zona kecepatan angin di Command Centre. Apabila terjadi persebaran lepasan radiasi dapat diketahui wilayah mana hari itu yang terdampak, sehingga masyarakat yang tinggal di wilayah terdampak bisa melakukan aktivitas di dalam rumah saja tidak boleh ke luar atau dilakukan evakuasi untuk menghindari paparan radiasi maksimal” (komunikasi personel, 21 Oktober 2021).*

Selain memiliki data angin utama menurut MS (komunikasi personal, 22 Oktober 2021), “RSG-GAS dilengkapi dengan peralatan pemantau beta gas mulia yang beroperasi secara berkesinambungan untuk memantau lepasan udara buang dari cerobong dalam kondisi operasi

normal maupun kondisi abnormal”. Informasi lebih detail, peneliti dapatkan pada LAK, apabila terjadi lepasan radioaktif melalui cerobong, dapat dideteksi oleh alat deteksi yang dimiliki PRPIKSN.

Selain sistem deteksi yang disebutkan di atas, juga dilakukan pemantauan tingkat radioaktif lingkungan di berbagai lokasi sekitar RSG-GAS yang diberikan dalam Gambar 4.27, menurut IK:

*“untuk melindungi lingkungan, tingkat radiologi, KNS sampai radius 5 km (lima kilo meter) selalu di pantau secara periodik, tiga bulan sekali. Pemantauan meliputi pengamatan keadaan cuaca dan pemantauan tingkat radioaktivitas lingkungan di berbagai lokasi. Untuk melengkapi analisis juga dilakukan survei untuk pengukuran tingkat radiasi alam, pengukuran radioaktivitas gross alpha dan beta dan spektrum gamma, serta kandungan tritium dalam sampel air; pengukuran radioaktivitas gross alpha dan beta dari sampel tanah, tanaman, dan tumbuhan yang biasanya dimakan ternak; pengukuran radioaktivitas partikel debu di udara, yang terdiri dari pengukuran radon dan turunannya, dan pengukuran aktivitas gross alpha dan beta dari sampel udara” (komunikasi personal, 17 Oktober 2021)*



**Gambar 4.27 Perangkat Pemantau Radiasi Lingkungan Instalasi Nuklir**

Sumber: Dokumentasi DPFK-BRIN

Sebagai badan pengawas nuklir, Bapeten menurut ZK telah mengembangkan sistem deteksi terhadap bahan nuklir dan zat radioaktif yang diberikan pada Gambar 4.28. Dalam pengawasannya, Bapeten:

*“setelah mengikuti Nuclear Security Summit I tahun 2010 memasang sistem peringatan dini di tapak RSG-GAS, berupa RDMS yang berfungsi mendeteksi lepasan radioaktif dari RSG-GAS ke lingkungan. Bapeten juga mempunyai unit pemantau radioaktivitas lingkungan bergerak (mobile RDMS-MONA) yang dimiliki sejak 2013,*

*mendeteksi dan memverifikasi alarm dari RPM yang dipasang di pelabuhan laut atau bandara” (komunikasi personal, 18 Oktober 2021)*



**Gambar 4.28 RPM di Pelabuhan**

Sumber: Berita BAPETEN (2016)

Tidak hanya BAPETEN, Nubika menurut RB “memiliki alat deteksi lepasan radiasi yang digunakan pada saat kedaruratan terjadi lepasan radiasi ke lingkungan. Kepemilikan alat tersebut untuk menunjang tugas Nubika pada saat kedaruratan, yaitu melakukan evakuasi warga terdampak dan memastikan wilayah sebaran radioaktif” (komunikasi personal, 21 Oktober 2021)

#### **4.2.2 Mitigasi Nonstruktural Untuk Menghadapi Ancaman Bencana Akibat Kegagalan Teknologi Nuklir Di RSG-GAS Yang Berada Dalam KNS**

##### **4.2.2.1 Peraturan Perundang-undangan**

Berbagai peraturan untuk menjamin keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir sudah diterbitkan BAPETEN. Menurut HS, “sudah lengkap peraturan yang diundangkan untuk mencegah dan mengurangi risiko dari pemanfaatan IBN, baik peraturan untuk reaktor daya yaitu PLTN dan reaktor riset atau reaktor nondaya seperti RSG-GAS” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021). RSG-GAS pusat pemanfaatan IBN mempunyai kewajiban dalam kegiatannya mengikuti peraturan yang berlaku. Menurut HS:

*“Berdasarkan hierarki peraturan perundang-undangan yang berlaku untuk pengawasan RSG-GAS, antara lain: 1). UU Ketenaganukliran yang saat ini dalam proses revisi; 2). PP Nomor 54 Tahun 2014 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, 3). PP Nomor 2 Tahun 2012 tentang Perizinan Reaktor Nuklir, dan 4). PP Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif yang sedang dalam proses revisi. (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

PerBAPETEN yang diundangkan tersebut berbasis mitigasi untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Dalam melakukan mitigasi penting mengetahui kondisi alam yang terjadi di Indonesia, menurut HS:

*“PerBAPETEN terkait mitigasi struktural dan nonstruktural untuk RSG-GAS lengkap, antara lain 1). PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Dispersi Zat Radioaktif di Udara dan Air; 2). PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia; 3). PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir; 4). PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan; 5). PerBAPETEN Nomor 5 Tahun 2015 Tahun 2015 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungapian; 6). PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi; 7). PerBAPETEN Nomor 9 Tahun 2013 tentang Batasan dan Kondisi Operasi Reaktor Nondaya; 8). PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nondaya; 9). PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2008 tentang Ketentuan Keselamatan Manajemen Penuaan Reaktor NonDaya; 10). PerBAPETEN Nomor 12 Tahun 2020 Tentang Klasifikasi, SSK Instalasi Nuklir; 11). PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir; 12). PerBAPETEN Nomor 14 Tahun 2007 tentang Satuan Tanggap Darurat; 13). PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2015 Tahun 2015 Tentang Penatalaksanaan Tanggap Darurat Bapeten; 14). PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir; 15). PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2012 tentang Penyusunan LAK Reaktor Nondaya” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

Dari informasi yang diberikan, terkait mitigasi nonstruktural berupa peraturan perundang-undangan sudah sangat lengkap. Sejalan

dengan hal tersebut, CF, BE, ZK, DA, RE menyatakan bahwa “peraturan peraturan perundang-undangan mengatur persyaratan yang harus dilakukan RSG-GAS sudah lengkap menjadi dasar dalam mengevaluasi LAK (LAK) yang diterbitkan RSG-GAS sebagai persyaratan permohonan izin ke BAPETEN”.

Dalam hal memberikan izin, BAPETEN harus terlepas dari kepentingan siapapun. Terkait pernyataan tersebut BE menginformasikan, “Independensi BAPETEN dalam menjalankan tugas pengawasan diatur dan dijamin UU 10/1997. UU 10/1997 memisahkan fungsi pelaksana dan fungsi pengawasan. Bapeten bertanggungjawab langsung kepada Presiden. Namun demikian, terkait program kerja kegiatan dan anggaran, BAPETEN dikoordinasikan oleh Kemeristek hingga sebelum Kemenristek bergabung dengan Kemendikbud” (komunikasi personal, 20 Desember 2021).

Untuk menilai independensi BAPETEN dan kecukupan peraturan diperlukan pengawasan. CF menginformasikan:

*“Untuk pengawasan terhadap BAPETEN, dilakukan oleh kementerian yang menaungi BAPETEN atas perintah presiden dan IAEA. Tim IAEA IRRS mengevaluasi BAPETEN sebagai pengawas menjalankan fungsinya melalui peraturan. IAEA menilai BAPETEN telah melakukan pengembangan, tinjauan berkala, dan pembaharuan peraturan secara komprehensif dan sistematis. BAPETEN juga dinilai telah mengevaluasi secara berkala persyaratan yang ada di peraturan dengan mempertimbangkan standar keselamatan dan teknis internasional, pengalaman operasional, perkembangan teknologi, serta aspek sosial dan ekonomi. Penyusunan dan pembaharuan peraturan, BAPETEN telah melibatkan narasumber ahli dan pemangku kepentingan. Penyusunan peraturan telah menggunakan standar internasional yang relevan serta mempertimbangkan umpan balik dalam pelaksanaan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir” (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Berdasarkan informasi yang didapatkan dari tiga informan, BAPETEN dalam pengawasannya telah mengundang beberapa

peraturan teknis yang merupakan peraturan turunan dari PP dalam bentuk PerBAPETEN termasuk peraturan terkait keadaan alam. HS menginformasikan “cakupan dari Peraturan BAPETEN, salah satunya, terkait dengan keselamatan yang tidak hanya mempertimbangkan pengaruh dari instalasi nuklir itu sendiri ke lingkungan (faktor alam) tetapi juga mempertimbangkan pengaruh lingkungan (faktor alam) ke instalasi nuklir” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021). Peraturan terkait mempertimbangkan keadaan alam dapat mengurangi risiko bencana seperti di Fukushima. Hal ini dinyatakan sama oleh BE,

*“Dengan mengikuti perkembangan standar internasional yang ada (IAEA), beberapa PerBAPETEN terkait dengan keselamatan berdasarkan faktor alam mencakup aspek vulkanologi, kegempaan, meteorologi dan hidrologi, geoteknik, dan kejadian akibat ulah manusia menjadi pertimbangan dalam pemilihan tapak dan desain RSG-GAS, antara lain PerBAPETEN tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir. Faktor alam yang dipertimbangkan dalam pemilihan tapak dan desain antara gempa bumi, vulkanologi, banjir, tsunami, cuaca ekstrim, Gempa bumi dan vulkanologi menjadi faktor penentu dalam pemilihan tapak, artinya jika faktor gempa bumi dan vulkanologi tidak memenuhi kriteria, maka tapak tidak dapat digunakan. Faktor lainnya masih dapat diatasi dengan desain dan rekayasa untuk mengatasi banjir, tsunami, cuaca ekstrim” (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Identifikasi faktor alam membantu kerentanan dan kapasitas di RSG-GAS menjadi pertimbangan dalam aspek pengawasan CF menyatakan

*“Identifikasi kerentanan dalam peraturan juga dilakukan, pada reaktor nuklir harus dilakukan sejak mendesain reaktor nuklir. PerBAPETEN No. 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nondaya mengatur bahwa PI harus menjamin terpenuhinya persyaratan keselamatan sejak konstruksi sampai dengan dekomisioning reaktor nondaya. PI harus melakukan analisis keselamatan reaktor berdasarkan kejadian awal terpostulasi. Kejadian awal terpostulasi adalah kejadian awal yang diidentifikasi pada saat desain, yang diyakini sebagai pemicu kejadian operasi terantisipasi atau sebagai pemicu terjadinya kondisi kecelakaan. Contoh kejadian awal terpostulasi diuraikan dalam lampiran PerBAPETEN No. 1 Tahun 2011” (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Berdasarkan informasi dari responden, aspek kejadian alam sebelum desain dibuat sudah diperhitungkan sehingga desain RSG-GAS dibuat memenuhi kriteria alam di sekitarnya. Menurut BE,

*“Dalam pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir, setelah diperoleh parameter dasar desain di tahap tapak, PI dalam mendesain instalasi nuklir berdasarkan parameter dasar desain dengan dipertimbangkan pula margin keselamatannya, sehingga diharapkan struktur, sistem dan komponen mampu tahan terhadap kejadian eksternal. PerBAPETENNo. 1 Tahun 2011 mengatur Ketentuan Keselamatan yang harus dipatuhi dalam mendesain reaktor. Dalam peraturan ini PI harus memastikan bahwa semua kondisi dan kejadian selama umur operasi reaktor yang dapat diperkirakan telah dipertimbangkan dalam dasar desain” (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Dengan telah ditetapkannya dasar desain maka struktur, sistem, dan/atau komponen yang penting untuk keselamatan mampu berfungsi pada kondisi yang ditimbulkan oleh bahaya internal dan eksternal, dengan memenuhi persyaratan proteksi radiasi yang telah ditetapkan. Informasi terkait juga diberikan CF:

*“Lampiran I PerBAPETENNo. 1 Tahun 2011 menguraikan Kejadian eksternal yang harus dipertimbangkan dalam desain reaktor, meliputi: Gempa bumi (termasuk seismik yang mengakibatkan patahan dan longsor); Banjir (termasuk luapan akibat kegagalan bendungan, tersumbatnya sungai); Topan, dan missil akibat topan; Badai, angin ribut dan kilat; Ledakan; Tubrukan pesawat; Kebakaran; Tumpahnya racun; Kecelakaan jalur lalu-lintas; dan Efek dari fasilitas didekatnya. (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Peraturan lainnya mengatur kejadian alam termasuk gempa menurut BE:

*“Sudah diatur dalam PerBAPETENNomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan; Peraturan Kepala Badan No 5 Tahun 2015 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungapian; dan PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi” (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Perihal yang sama ditegaskan RE:

*“PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir terkait Informasi Aspek Geografi, Topografi, Demografi harus disampaikan ke BAPETEN pada saat pengajuan persetujuan evaluasi tapak, dan izin tapak, juga pada tahap pengajuan izin konstruksi, komisioning, operasi, dan perpanjangan izin operasi sampai dekomisioning harus memutakhirkan informasi aspek geografi, topografi, demografi ke dalam LAK yang diatur dalam PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2012 tentang Penyusunan LAK Reaktor Nondaya (komunikasi personal, 24 Desember 2021).*

Untuk memastikan reaktor selamat perlu dipastikan sumber daya yang memadai termasuk SDM dalam hal ini petugas yang bekerja di RSG-GAS. Menurut BE, “untuk memastikan bahwa instalasi nuklir dioperasikan dengan aman dan selamat, dalam pengoperasiannya harus dipastikan bahwa personel yang mengoperasikan instalasi nuklir harus memiliki kompetensi dan kualifikasi yang memadai dalam melaksanakan tugas dan kewenangannya” (komunikasi personal, 20 Desember 2021). Menurut CF:

*“Petugas RSG – GAS termasuk dalam Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir (IBN) yang harus memiliki izin bekerja. Pedoman mengenai persyaratan dan tata cara memperoleh Izin Bekerja bagi Petugas IBN yang didasarkan pada kompetensi diatur dalam PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir Dan Bahan Nuklir. Standar kompetensi untuk petugas IBN diuraikan dalam Lampiran II Peraturan Badan tersebut (komunikasi personal, 20 Desember 2021).*

Sejalan dengan pernyataan dari responden di atas, sebagai tindakan mitigasi nonstruktural menurut HS, “Peraturan Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir, berisi persyaratan administrasi dan teknis yang harus dipatuhi petugas operator, supervisor, petugas perawatan, petugas proteksi radiasi, dan petugas inventori bahan nuklir di RSG-GAS dalam mendapatkan izin bekerja atau perpanjangan izin bekerja di RSG-GAS” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).

Berdasarkan informasi dari responden, kejadian alam yang dipertimbangkan merupakan analisis keselamatan yang diberikan dalam LAK (LAK), RE menyatakan “LAK diatur dalam PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2012 tentang Penyusunan LAK Reaktor Nondaya” (komunikasi

personal, 24 Desember 2021). Analisis keselamatan dibuat untuk menilai risiko terhadap RSG-GAS untuk menghindari bencana yang terjadi di Fukushima perlu dilakukan penialain risiko. Penilaian risiko dilakukan sebagai tindakan pengurangan risiko berdasarkan kejadian Fukushima. Terkait hal tersebut, MS menginformasikan “RSG-GAS telah melakukan LAK dalam LAK mengakomodir bencana Fukushima mengenai Kecelakaan yang melampaui Dasar Desain BDBA, hasil tersebut dapat menjadi dasar dalam menyiapkan penanggulangan kecelakaan melalui program kesiapsiagaan nuklir pada sistem pertahanan berlapis level 4” (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).

Untuk mencegah terjadi bencana akibat kegagalan teknologi di RSG-GAS dilakukan upaya kedaruratan nuklir pada lapisan ke 4 di RSG-GAS. Menurut RE:

*“BAPETEN telah menerbitkan PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Kedaruratan IBN. Dalam Pasal 34, RSG-GAS harus melakukan tindakan mitigasi untuk mencegah eskalasi bahaya radiologi, mengembalikan fasilitas atau instalasi ke keadaan selamat dan stabil, mengurangi potensi lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi; dan memitigasi dampak lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi. Dari peraturan ini dibutuhkan sistem pertahanan berlapis bagi RSG-GAS (komunikasi personal, 24 Desember 2021).*

Dari responden di atas, Peraturan Perundang-undangan mengatur desain mempertimbangkan keadaan alam telah dibuat. Begitu juga, Peraturan Perundang-undangan mengatur kedaruratan nuklir.

#### **4.2.2.2 Pelatihan**

Pelatihan untuk peningkatan kapasitas petugas RSG-GAS menjadi program dalam pengembangan petugas RSG-GAS untuk mendapatkan kualifikasi petugas yang didapatkan dari pengujian. Hal tersebut dipertegas MS,

*“Pelatihan petugas RSG-GAS dilakukan secara berkala. Reaktor dioperasikan oleh personil yang ahli dan bersertifikat yang terpelihara, operator, supervisor, teknisi dan supervisor Perawatan*

*Reaktor RSG-GAS, petugas dan supervisor proteksi radiasi, dan petugas inventori bahan nuklir secara berkala meningkatkan kompetensi diri, antara lain melalui pelatihan mengenai sistem, struktur, dan komponen reaktor (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

Informasi yang didapat dibenarkan dalam dokumentasi website BRIN, peneliti menemukan data sekunder bahwa operator dan supervisor reaktor serta teknisi dan supervisor reaktor memiliki kompetensi dalam hal memahami seluruh SSK reaktor RSG-GAS serta memiliki SIB yang dikeluarkan oleh Bapeten. Untuk memenuhi hal tersebut, manajemen DPFK memfasilitasi peningkatan kompetensi teknisi dan supervisor perawatan dengan mengadakan diklat selingkung mengenai SSK reaktor RSG-GAS. Diklat ini dilaksanakan dari tanggal 4 sampai dengan 18 Maret 2019 di ruang rapat G.A Siwabessy DPFK, dengan mengundang pemateri yang berasal dari BAPETEN, BRIN, serta Expert dari luar instansi yang diberikan dalam Gambar 4.29.



**Gambar 4.29 Pelatihan Teknisi dan Supervisor Perawatan RSG-GAS**

Sumber: [batan.go.id](http://batan.go.id)

RSG-GAS juga melaksanakan Diklat Operator dan Supervisor RSG-GAS dengan metode *blended learning* selama dua pekan, mulai tanggal 7 s.d 21 September 2020 diberikan dalam Gambar 4.30. Metode *blended learning* merupakan metode terbaru yang diterapkan agar para peserta

diklat tetap dapat melakukan kegiatan pengembangan potensi diri, meskipun terhalang pandemi, menurut Suwoto dalam batan.go.id



**Gambar 4.30 Pelatihan Online Calon Operator dan Supervisor RSG-GAS**

Sumber: batan.go.id

Pelatihan yang telah dilakukan RSG-GAS diperkuat dengan pernyataan dari RE:

*“Petugas RSG-GAS tidak hanya terlatih tetapi harus terqualifikasi (memiliki izin bekerja) dari Badan Pengawas sebelum bekerja. Izin bekerja bagi petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir menjadi syarat dalam permohonan izin komisioning instalasi nuklir (Pasal 26 ayat 3 dan Pasal 76 ayat 3 PP 2 Tahun 2014). Informasi mengenai kualifikasi dan pelatihan petugas telah termuat dalam Bab 13 (Pelaksanaan Operasi) LAK RSG GAS yang dilaporkan ke BAPETEN” (komunikasi personal, 24 Desember 2021).*

Setiap petugas IBN berdasarkan HS, “sebelum mendapatkan izin bekerja, juga melaksanakan pengembangan kompetensi antara lain pelatihan proteksi radiasi, pelatihan kedaruratan/gladi lapang” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021) Menurut MS, “Pelatihan/gladi kedaruratan tingkat instalasi dilakukan secara berkala 1 (satu) tahun sekali sesuai dengan program pelatihan/gladi kedaruratan nuklir di KNS” diberikan dalam Tabel 4.6. lebih lanjut, MS “pelatihan kedaruratan nuklir dilakukan di KNS, melibatkan masyarakat di dalam pagar kuning”. Dokumentasi pelaksanaan kedaruratan nuklir tersebut diberikan dalam Gambar 4.31, sebagai ketua penanggulangan kedaruratan adalah Kepala Pusat

Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN), dari pelatihan/gladi tersebut diketahui seberapa cepat waktu dibutuhkan evakuasi di KNS (komunikasi personal, 22 Oktober 2021). AM sebagai Lurah Muncul menginformasikan, “Kepala/pejabat daerah di Kelurahan Muncul seperti Lurah, RW, RT sebelum Covid-19 sering dilibatkan dalam penyelenggaraan pelatihan atau gladi lapangan kedaruratan daerah dan nasional” (21 November 2021).

**Tabel 4.6 Program Pelatihan dan Gladi Kedaruratan Nuklir di KNS**

<b>NO.</b>	<b>OBJEK</b>	<b>METODE</b>	<b>FREKUENSI</b>	<b>PELAKSANA</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	Pengujian	Sirine, alat komunikasi, dan CCTV	1 tahun sekali	Kendali operasi (PUSKODAL)
<b>2.</b>	Kebakaran dan <i>rescue</i>	Kursus damkar: latihan menggunakan APAR, hydrant, mobil damkar, dan peralatan pendukung lainnya	1 tahun sekali	Tim Damkar dan Rescue, rencana penanggulangan keadaan darurat, fasilitas dan pengelola KNS
<b>3.</b>	dekontaminasi	Kursus proteksi radiasi, latihan menghilangkan kontaminan di tubuh pekerja, peralatan, dan daerah kerja	1 tahun sekali	DPFK, PRTBN, PRR, PRTLRL, PRTBIN, dan INUKI

1	2	3	4	5
4.	evakuasi	Latihan jalur evakuasi dan bantuan untuk mengetahui waktu dan jarak tempuh	1 tahun sekali	Tim evakuasi PRKTN
5.	P3K	Kursus P3K, latihan penanggulangan korban	1 tahun sekali	Seluruh satuan kerja di KNS
6.	DPFK	Latihan penanggulangan kedaruratan	2 tahun sekali	DPFK dan PK-KNS
7.	DPFK	Tanggap darurat dan kajian dosis pekerja	4 tahun sekali	DPFK, PK-KNS, puspipetek, TNI AD, kepolisian, Pemda, dan Kemkes

Sumber. Diolah Peneliti (2021)



**Gambar 4.31 Pelatihan Kedaruratan Nuklir Tingkat Instalasi di KNS**

Sumber: Dokumentasi DPFK-BRIN

Pelatihan kedaruratan nuklir juga dilakukan oleh prajurit Kompi Zeni Nuklir, Biologi, dan Kimia (NUBIKA) dengan BATAN dan BAPETEN untuk meningkatkan kompetensi kedaruratan nuklir pada NUBIKA. RB, “kurang lebih 50 (lima puluh) prajurit NUBIKA melakukan pelatihan kedaruratan nuklir di KNS” (komunikasi personal, 21 Oktober 2021) yang diberikan dalam Gambar 4.32. Pelatihan kedaruratan nuklir yang telah dilaksanakan menurut EN, “berdasarkan dokumen rencana kontinjensi nuklir yang telah disusun bersama difasilitasi oleh BNPB dan BAPETEN” (komunikasi personal, 1 November 2021). Latihan kedaruratan nuklir tingkat provinsi diselenggarakan oleh BPBD, BRIN, BAPETEN ditemui peneliti pada [Bapeten.go.id](http://Bapeten.go.id) yang dilaksanakan pada tahun 2016 diberikan dalam Gambar 4.33. Pelatihan kedaruratan nuklir tingkat provinsi menurut DA dan disetujui oleh BR, pelatihan kedaruratan belum melibatkan masyarakat untuk skenario evakuasi (komunikasi personal, 21 Oktober 2021). Pernyataan yang sama diberikan MS, “penyelenggaraan pelatihan/drill secara nasional diselenggarakan di KNS, skenario dibuat oleh RSG-GAS, namun koordinasi penyiapannya melibatkan instansi luar sebagai perencananya. Pelibatan masyarakat pada drill nasional dilakukan RSG-GAS berkoordinasi dengan Pemda, seperti skenario evakuasi namun belum pernah dilakukan drill nasional sampai evakuasi masyarakat” (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).



**Gambar 4.32 Latihan Gabungan Dengan NUBIKA di KNS**

Sumber: [batan.go.id](http://batan.go.id)



**Gambar 4.33 Latihan Kedaruratan Nuklir**

Sumber: Berita BAPETEN (2016)

Berdasarkan informasi dari responden, dokumen rencana kontinjensi kedaruratan nuklir di RSG-GAS sudah ditetapkan, menurut EN: “Rencana kontinjensi sudah menetapkan wilayah yang akan terdampak lepasan radioaktif apabila terjadi kegagalan teknologi di RSG-GAS termasuk penetapan lokasi evakuasi, pos lokasi evakuasi ditetapkan di pondok cabai yaitu kecamatan Pamulang. Kecamatan Pamulang sudah kita undang dalam gladi” (komunikasi personal, 1 November 2021). Nubika secara berkala mempersiapkan kompetensi prajuritnya terhadap kedaruratan nuklir. RB menjelaskan bahwa:

*“pelatihan/gladi bencana sudah dilakukan dengan satuan dan perorangan secara berkala setiap tahun sesuai dengan ancaman pada saat itu dan sesuai arahan, topik ancaman antara lain nuklir, biologi, atau kimia. Pelatihan/gladi khusus nuklir lebih sering dilakukan secara gabungan menyesuaikan program kedaruratan RSG-GAS dengan skenario ancaman sabotase. Skenario ancaman gempa belum pernah dilakukan karena lokasi KNS aman dari sesar atau patahan sehingga RSG-GAS tidak rentan terhadap bencana alam termasuk gempa (komunikasi personal, 21 Oktober 2021).*

Pelatihan kedaruratan nuklir di BRIN menurut IK, “pelatihan kedaruratan nuklir mengikuti pelatihan kedaruratan nuklir tingkat Provinsi yang dikoordinasi oleh BPBD paling sedikit 1 (satu) kali dalam 2 (dua)

tahun. BRIN juga mengikuti pelatihan kedaruratan nuklir tingkat Nasional yang dikoordinasi oleh BNPB paling sedikit 1 (satu) kali dalam 4 (empat) tahun” (komunikasi personal, 17 Oktober 2021).

Setelah Fukushima, ditunjuk RS rujukan untuk pasien terpapar radiasi. Hal ini diperkuat dengan informasi DA sebagai penagawas radiasi madya di direktorat keteknikan dan kesiapasiagaan nuklir:

*“Pelatihan kedaruratan nuklir diberikan kepada Dokkes yang bekerja di RS yang ditunjuk dalam keputusan kementerian kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/420/2018 tentang RS Rujukan Bencana Nuklir Nasional, antara lain kepada Dokkes RS Fatmawati, RS Hasan Sadikin, dan RS Sarjito karena di RS tersebut ada instalasi nuklir (komunikasi personal, 18 Oktober 2021).*

Pelatihan kedaruratan nuklir yang dilakukan oleh BAPETEN dan tiga RS yang ditunjuk diberikan dalam Gambar 4.34



**Gambar 4.34 Latihan Kedaruratan Nuklir Dokkes**

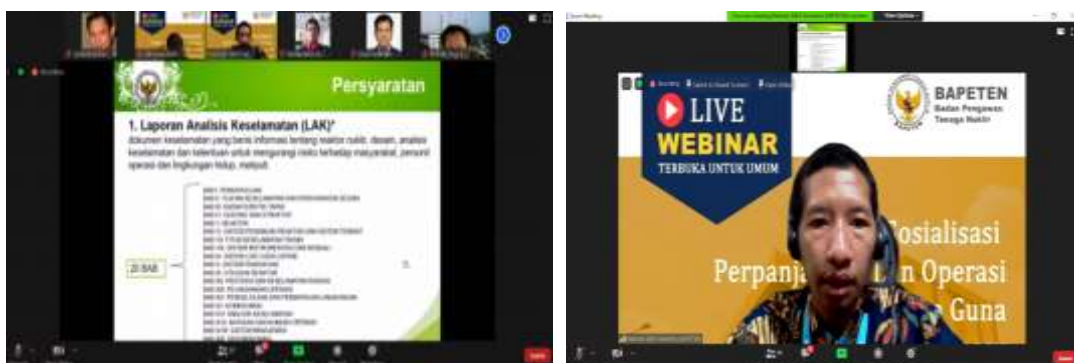
Sumber: Berita BAPETEN (2016)

#### **4.2.2.3 Sosialisasi**

Sosialisasi dalam mitigasi bencana merupakan aspek penting untuk ketangguhan pemerintah dalam melakukan tanggung jawabnya terhadap bencana. Keberhasilan dalam mencegah dan menangani bencana dilihat dari faktor koordinasi antar pemerintah, pemangku kepentingan, dan masyarakat sebagai pendukung keberhasilan. Sosialisasi yang dilakukan BRIN ke Pemda atau instansi terkait menurut PZ sebagai Guru Besar.

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB menyatakan “saat ini era informasi publik, masyarakat berhak tau kondisi yang terjadi saat itu di sekitar masyarakat untuk menjamin keselamatan, salah satunya untuk menghindari informasi yang tidak dapat dipercaya menyebar di masyarakat” (komunikasi personal, 26 Oktober 2021).

EN, “inisiatif BRIN/BAPETEN ke BPBD atau sebaliknya salah satunya melalui rapat koordinasi agar pada pelatihan berjalan sesuai dengan skenario yang dikoordinasikan” (komunikasi personal, 1 November 2021). Sosialisasi nuklir dari BRIN ke masyarakat juga sudah dilakukan menurut AM, “Kepala/pejabat daerah di Kelurahan Muncul secara berkala diundang ke BRIN untuk menerima sosialisasi, namun selama Covid dan ditambah Batan bergabung dengan BRIN, kegiatan sosialisasi tersebut sampai saat ini belum dilakukan” lurah muncul (21 November 2021). Menurut RE, “BAPETEN juga melakukan kegiatan sosialisasi teknis terkait perpanjangan izin RSG-GAS berdasarkan amanah dari Pasal 46 UU Nomor 30 Tahun 2014 tentang Administrasi Pemerintahan. Sosialisasi diberikan kepada pihak yang berkepentingan terutama bagi masyarakat yang tinggal di sekitar instalasi RSG-GAS yang dihadiri lebih dari 550 peserta dalam aplikasi zoom meeting dan kanal youtube” (komunikasi personal, 24 Desember 2021), yang diberikan pada Gambar 4.35.



**Gambar. 4.35 Sosialisasi BAPETEN Kepada Pihak Berkepentingan Terkait Perpanjangan Izin Operasi RSG GAS**

Sumber: <https://www.Bapeten.go.id/berita/webinar-perpanjangan-izin-operasi-rsggas>

Sosialisasi kepada masyarakat yang diberikan dalam Gambar 4.36 berguna terhadap masyarakat selain untuk menginformasikan pemanfaatan tenaga nuklir di KNS juga berguna sebagai tindakan awal yang dilakukan masyarakat terhadap kedaruratan nuklir, menurut MS:

*“BRIN aktif mengundang masyarakat yang dituakan atau pemimpin masyarakat (pak camat, pak lurah, dan lainnya) di sekitar KNS dalam temu kaji, selain memberikan sosialisasi bahwa di KNS serpong terdapat satu instalasi yaitu RSG-GAS yang berpotensi terjadi lepasan radioaktif, juga pertemuan yang dilakukan setiap tahun untuk menerima masukan masyarakat terhadap instalasi nuklir”* (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).



**Gambar 4.36 Sosialisasi BRIN Kepada Masyarakat Terkait Nuklir**

Sumber: Dokumentasi DPFK-BRIN

Di Tangsel menurut EN, “khusus untuk kedaruratan nuklir dan bencana lainnya sudah dibentuk kampung siaga bencana yang diberikan dalam Gambar 4.37, warganya sudah kami latih dan kami ikut sertakan dalam pelatihan atau gladi lapang” (komunikasi personal, 1 November 2021).



**Gambar 4.37 Kampung Tangguh Jaya, Kelurahan Kademangan, Kecamatan Setu**

Sumber: Dokumentasi Kecamatan Setu-Tangsel (2021)

### 4.2.3 Lessons Learned

*Lesson learned* dari bencana Fukushima adalah salah satu kejadian kegagalan teknologi nuklir di dunia yang dapat dilakukan RSG-GAS untuk mencegah dan mengurangi risiko terjadinya lepasan radioaktif sehingga dapat meningkatkan langkah-langkah mitigasi di RSG-GAS. Peneliti mengambil fokus yang diteliti terkait *lesson learned* Fukushima yaitu desain, struktur, sistem deteksi, Peraturan PerUUan, pelatihan, dan sosialisasi.

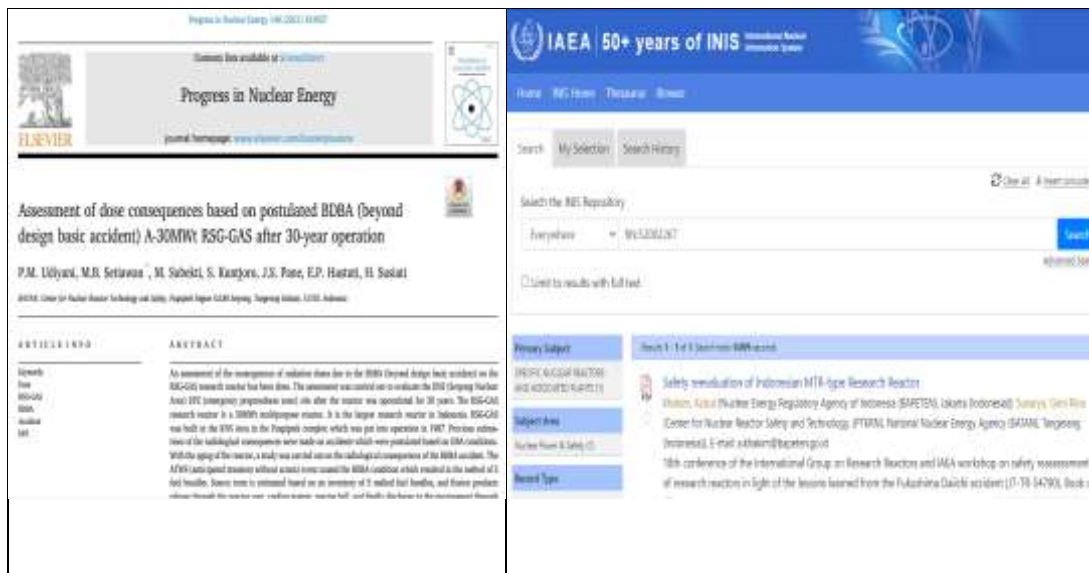
#### 4.2.3.1 Desain

*Lesson learned* dari bencana Fukushima untuk desain RSG-GAS menurut MS,

*Telah dilakukan kajian konsekuensi dosis berdasarkan postulated BDBA pada RSG-GAS dengan daya 30 MW setelah 30 tahun beroperasi. Skenario kecelakaan terparah yaitu lepasan radioaktif ke luar pagar kuning dan di dalam teras reaktor terjadi pelelehan, kami hitung berapa dosis yang diterima masyarakat sehingga terjadi pelepasan zat radioaktif ke luar dan terbawa oleh angin kemudian ada yang terserap oleh tanah dan tumbuhan, serta yang menentukan cuacanya dan arah angin menuju ke arah mana. RSG-GAS menganalisis daerah mana yang terkena dampak. Hasil pengukuran bahwa masyarakat terkontaminasi lepasan radioaktif tidak sampai 1 mSv/tahun, arti dari nilai tersebut adalah nilai di bawah ambang batas keselamatan yang dapat diterima oleh masyarakat, sehingga dinyatakan aman (komunikasi personal, 22 Oktober 2021).*

Dari sumber data lain juga peneliti dapatkan dengan menelusuri dan membaca dokumentasi kajian BDBA pada RSG-GAS baik dari BRIN, BAPETEN, maupun media elektronik, transkrip, buku, jurnal, laporan, penelitian terdahulu, dan lain sebagainya. Dari penelusuran tersebut, peneliti menemukan artikel ilmiah seperti diberikan dalam Gambar 4.38 kajian BDBA di RSG-GAS meliputi: 1). RSG-GAS telah mengkaji konsekuensi radiologi dari kecelakaan BDBA yang di simulasikan di RSG-GAS. Hasil kajian menunjukkan dosis terbesar dicapai dalam radius bawah 500 m (lima ratus meter) dengan arah angin ke Selatan. Dosis

radiasi di bawah batas dosis eksklusi dan di luar wilayah eksklusi. Konsekuensi dari dosis kecelakaan BDBA di RSG-GAS tidak memerlukan penanggulangan seperti sheltering, evakuasi, dan relokasi; 2). analisis keselamatan reaktor riset tipe MTR 30 MW dilakukan LOFA, *loss of off-site power*, and RIA diakibatkan penarikan batang kendali yang tidak disengaja. Perhitungan transien dilakukan dengan menggunakan PARET/ANL, dan untuk laju penyisipan reaktivitas Kode MCNP5 digunakan. Untuk LOFA dan *loss of off-site power*, reaktor diasumsikan telah beroperasi pada daya nominal 30 MW. Di sisi lain, selama kecelakaan penarikan kontrol yang tidak disengaja, reaktor diasumsikan telah beroperasi pada 1 MW. Analisis dimaksudkan untuk mengkonfirmasi bahwa sebagian besar kecelakaan dasar desain pembatas, reaktor dapat dipertahankan aman. Untuk semua kasus yang disebutkan di atas, Bahan bakar dan *clad temperatures* dapat dipertahankan jauh di bawah kriteria keamanan.



**Gambar 4.38 Dokumentasi Artikel Ilmiah Mengenai Kajian BDBA pada RSG-GAS**

Sumber: Udiyani (2021) dan Khakim (2017)

Berdasarkan informasi dari responden dan dokumentasi ilmiah, DPFK-BRIN telah melaksanakan kajian dalam bentuk simulasi kecelakaan melampui dasar desain di RSG-GAS, kegiatan tersebut untuk mengetahui

keandalan desain RSG-GAS pada saat terjadi bencana ekstrem yang terjadi di Fukushima, hasil yang didapat RSG-GAS masih handal karena sistem pasif yang berasal dari kondisi alami tidak menyebabkan lepasan radiasi ke lingkungan. Simulasi tersebut, menjadi dasar atau jaminan keselamatan RSG-GAS sampai saat ini belum melakukan pelatihan sampai evakuasi masyarakat yang menjadi kewenangan Pemda/pusat, karena RSG-GAS dalam keadaan para sekalipun tidak terjadi lepasan radioaktif ke lingkungan..

#### 4.2.3.2 Struktur

*Lesson learned* dari kejadian PLTN Fukushima untuk struktur menurut RE dalam LAK RSG-GAS:

*“Pada tahun 2014 s.d 2016 BRIN melakukan evaluasi karakteristik tapak kawasan Serpong. Studi menunjukkan bahwa terdapat peningkatan PGA. Kesimpulan studi tersebut kemudian dipergunakan dalam evaluasi karakteristik tapak dan desain gedung dan struktur pada evaluasi dokumen penilaian keselamatan berkala pada permohonan perpanjangan izin operasi RSG GAS di tahun 2020. Pada tahun 2019 DPFK-BRIN bekerjasama dengan B2TKS BPPT telah melakukan analisis ketahanan gedung dengan mempertimbangkan hasil studi karakteristik tapak tahun 2014-2016, dengan kesimpulan hasil pemeriksaan dan pengujian struktur gedung RSG-GAS yang dilakukan tim inspeksi B2TKS-BPPT tahun 2019, reaktor RSG-GAS masih aman dan memenuhi syarat kekuatan SNI 2847:2013 (komunikasi personal, 24 Desember 2021).*

Desain RSG-GAS dapat mencegah kehilangan air yang sangat banyak ketika terjadi kebocoran pada pipa pendingin primer karena ruang katup reaktor dirancang anti bocor. Berdasarkan hal tersebut menurut MS, “dilakukan skenario kehilangan air pendingin karena terjadinya gempa. Dari skenario tersebut, dihasilkan perhitungan waktu yang ideal untuk penutupan katup agar pada kondisi darurat, level air kolam tetap sesuai pada batas keselamatan yang sudah ditetapkan” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).

Dari sumber data lain juga peneliti dapatkan dengan menelusuri dan membaca struktur RSG-GAS baik dari BRIN, BAPETEN, BPBD, maupun

media elektronik, transkrip, buku, jurnal, laporan, penelitian terdahulu, dan lain sebagainya. Dari penelusuran tersebut, peneliti menemukan LAK RSG-GAS Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS. Peneliti menemukan RSG-GAS telah melakukan pemeriksaan dan pengujian struktur gedung RSG-GAS yang dilakukan pihak eksternal RSG-GAS yaitu tim inspeksi B2TKS-BPPT tahun 2019. Pengujian tersebut dalam rangka mengetahui keselamatan dan keamanan struktur RSG-GAS yang sudah dibangun sejak tahun 1983 dengan struktur bangunan tahan gempa 0,25G. Hasil pengujian didapatkan bahwa Nilai mutu beton rata-rata hasil pengujian metode *Hammer test* dan UPV test pada struktur gedung reaktor RSG-GAS memenuhi nilai spesifikasi pada *as built drawing* sehingga struktur reaktor RSG-GAS menunjukkan masih aman dan memenuhi syarat kekuatan SNI 2847:2013.

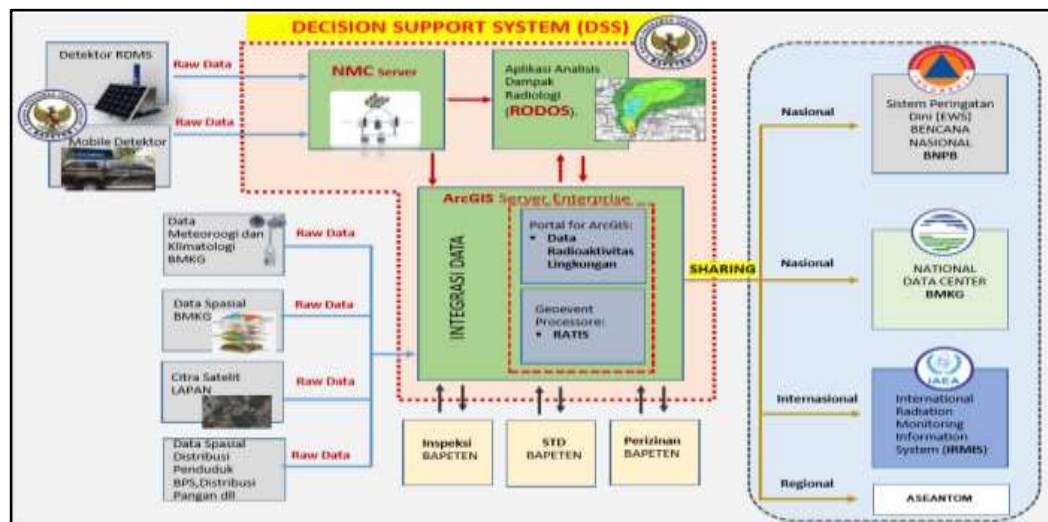
#### 4.2.3.3 Sistem Deteksi

Sistem deteksi berdasarkan *Lesson learned* dari Fukushima, sistem deteksi di RSG-GAS menurut MS:

*“DPFK-BRIN pernah mengkaji sistem deteksi radiasi bekerjasama dengan dengan PLTN Belanda terkait Early Anomaly Detection. Sistem kerja alat tersebut secara online menginformasikan operator apabila terjadi kejadian anomaly pada sistem sebelum terjadi lepasan radioaktif, sehingga operator dapat mengetahui dan memperbaiki sistem yang terdeteksi mengalami anomaly sebelum terjadi kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS. Sistem ini berbeda dengan EWS yang dimiliki oleh instansi lain, yang bekerja ketika terjadi lepasan radioaktif, sedangkan tidak bisa mendeteksi kejadian anomaly pada sistem” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

Sistem deteksi juga tidak hanya terpasang di dalam RSG-GAS, juga dipasang di luar RSG-GAS untuk memastikan mengurangi risiko lepasan radioaktif ke lingkungan. Menurut ZK dibenarkan DA, “setelah Fukushima rencana pengembangan sistem deteksi dini terhadap lepasan radioaktif akan menuju ke sistem peringatan dini nuklir yang terintegrasi dengan sistem peringatan dini milik instansi terkait seperti BMKG, LIPI dan instansi lainnya, sehingga sistem peringatan tersebut, secara online dapat

memberikan informasi kepada BNPB, IAEA, dan lainnya” (komunikasi personal, 18 Oktober 2021). Rencana atau konsep sistem peringatan dini terintegrasi tersebut diberikan pada Gambar 4.39.



**Gambar 4.39 Sistem Peringatan Dini Online Terintegrasi**

Sumber: Dokumentasi DKKN-BAPETEN (2019)

#### 4.2.3.4 Peraturan Perundang-undangan

*Lesson learned* Fukushima menjadi *point* penting terhadap peraturan perundang-undangan. Inti fungsi pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir adalah peraturan perundang-undangan, terciptanya peraturan perundang-undangan yang menjamin keselamatan masyarakat menjadi faktor prioritas pendukung fungsi inspeksi dan perizinan di pengawasan ketenaganukliran. Menurut HS:

*“Dalam menyusun dan memperbaharui PerBAPETEN sebelum Fukushima Daiichi sudah melibatkan narasumber ahli dan pemangku kepentingan, selain itu penyusunan peraturan telah menggunakan standar internasional yang relevan serta mempertimbangkan umpan balik dalam pelaksanaan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir, dan saat ini ada Peraturan Perundang-undangan yang sedang disusun atau dalam rencana revisi menyesuaikan referensi IAEA terbaru, salah satunya lesson learned dari kejadian PLTN Fukushima, antara lain: 1). Revisi PerBAPETEN tentang Desain berdasarkan referensi IAEA Safety Standards No. SSR-2/1 (Rev.1) tentang Safety of NPP: Design; 2). Rencana Revisi PP Nomor 54*

*Tahun 2012 terkait tanggung jawab dan kewenangan instansi/lembaga terkait dalam penanggulangan kedaruratan nuklir dan terkait Konsep DEC. 3). Revisi PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 terkait penyebaran informasi ke masyarakat sebagai peningkatan kompetensi masyarakat perihal nuklir; 4). Revisi UU Nomor 10 Tahun 1997 terkait sistem peringatan dini menjadi kewajiban pemerintah pusat dan daerah” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

Setelah Fukushima, terdapat rencana Peraturan Peraturan perundang-undanganyang terkait atau tidak terkait bencana Fukushima, menurut HS yaitu:

*“Revisi UU Ketenaganukliran terbit, Revisi PP Nomor 54 Tahun 2012 akan digabungkan dengan PP Nomor 2 Tahun 2014 sebagai simplifikasi Peraturan Peraturan perundang-undangan untuk memangkas jumlah Peraturan Peraturan perundang-undanganyang ada dan akan diatur tugas dan kewenangan instansi terkait dalam kedaruratan nuklir, meskipun dalam tataran praktik telah dilakukan koordinasi antar pemangku kepentingan yang dituangkan dalam Pedoman OTDN. Pada saat ini, PP Nomor 54 Tahun 2012 telah mengatur bahwa BNPB menjadi komando untuk kedaruratan nuklir nasional, BPBD menjadi komando untuk kedaruratan nuklir daerah” (komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

#### **4.2.3.5 Pelatihan**

Setelah kejadian Fukushima Daiichi, dilakukan simulasi atau uji coba terkait *safety aspects of station blackout*. Uji coba dilakukan berdasarkan analisis keselamatan, MS (komunikasi personal, 20 Oktober 2021) seolah-olah kehilangan listrik total ketika RSG-GAS sedang beroperasi dengan daya 15 MW. Dari kejadian tersebut, diamati per detik, per menit, per jam perpindahan panas yang ada di dalam reaktor dengan daya tinggi tiba-tiba *shutdown* dianggap dampak dari gempa atau keadaan alam ekstrim. Dari drill tersebut, dapat diukur parameter temperatur, *flow* yang hilang yang dapat mempengaruhi perpindahan panas.

*Drill didapatkan bahwa perpindahan panas terjadi dalam waktu 1 (satu) sampai 2 (dua) menit sedangkan di PLTN biasanya mencapai 2 (dua) sampai 4 (empat) menit. Panas tersisa akibat shutdown yang mendadak, dikeluarkan dengan cara sirkulasi alam, salah satunya*

*dari udara dan pendingin air yang berasal di atas teras reaktor. Selain itu, RSG-GAS di desain dengan volume teras yang luas sehingga dapat meyerap panas reaktor secara alami (MS, komunikasi personal, 20 Oktober 2021).*

Selain itu, DA (komunikasi personal, 18 Oktober 2021) setelah kejadian Fukushima dilakukan pelatihan kedaruratan nuklir kepada Dokkes bekerja di RS yang ditunjuk dalam keputusan kementerian kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/420/2018 tentang Rumah Sakit Rujukan Bencana Nuklir Nasional, antara lain kepada dokter kesehatan RS Fatmawati, RS Hasan Sadikin, dan RS Sarjito.

#### **4.2.3.6 Sosialisasi**

Setelah Fukushima Daiichi, ITB melakukan komunikasi dengan BRIN dan Bapeten untuk mengevaluasi *Hybird Potential Accident* (HPA) (komunikasi personal, PZ, 26 Oktober 2021). Program sosialisasi kepada masyarakat terkait informasi pemanfaatan nuklir tetap dilakukan dari tahun ke tahun oleh BRIN, namun sosialisasi belum kearah pemberian edukasi kepada masyarakat, apa saja yang harus dilakukan masyarakat apabila terjadi kedaruratan nuklir (komunikasi personal, JP, 1 November 2021).

### **4.3 Hasil Pengolahan Data**

Hasil pengolahan data, peneliti laksanakan dengan mengolah data menjadi kategorisasi, sistematis dan memaknai jawaban dari wawancara mendalam kepada 8 (delapan) Narasumber. Dalam hal topik tertentu, Narasumber dengan tugas pokok dan fungsinya tidak terkait tidak diberikan pertanyaan yang sama untuk memastikan keakuratan data. Data dokumentasi dan observasi didapatkan sebagai peningkatan keakuratan data pada: 1). mitigasi struktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS; 2). mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat

kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS; dan 3). *lessons learned* kejadian bencana PLTN Fukushima Daiichi terhadap upaya mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS.

### **4.3.1 Mitigasi Struktural**

#### **4.3.1.1 Desain**

Pengolahan data untuk mengetahui desain RSG-GAS dilakukan kepada 4 (empat) Narasumber ditinjau dari variabel: 1). Evaluasi karakteristik tapak; 2). Desain mempertimbangkan karakteristik tapak; 3). Pemutakhiran analisis tapak; 3). *Updating design* sesuai pemutakhiran tapak; 4). Penilaian bahaya alam konservatif; 5). Desain terhadap kecelakaan parah (BDBA); 6). Didesain redundansi; 6). Didesain dengan sistem pendingin yang memadai.

##### **a. Evaluasi Karakteristik Tapak**

Evaluasi karakteristik tapak dilakukan sebelum mendapatkan persetujuan desain dari BAPETEN, informasi tersebut disetujui MS, HS, RE, dan IK, serta dibuktikan dalam LAK RSG-GAS pada Bab 3 mengenai Karakteristik Tapak RSG-GAS. Evaluasi karakteristik tapak mempertimbangkan: 1). aspek kegunaan; 2). aspek kegunungapian; 3). aspek geologi, geoteknik dan pondasi; 4). Aspek meteorologi; 5). Aspek hidrologi; 6). Aspek kejadian eketernal akibat ulah manusia; dan 7). Aspek dispersi dan distribusi penduduk.

##### **b. Desain Mempertimbangkan Karakteristik Tapak**

Desain mempertimbangkan karakteristik tapak, dinyatakan narasumber dengan kode MS, HS, RE, dan IK serta dibuktikan dalam LAK RSG-GAS Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS, bahwa RSG-GAS didesain dengan kemampuan

ketahanan terhadap kejadian internal berupa kebakaran atau ledakan, kejadian kebocoran dari sistem pendingin atau banjir di dalam gedung, kehilangan sistem pendukung, insiden akses pengamanan, dan kejadian dari fasilitas eksperimen. Selain itu, Gedung reaktor RSG-GAS juga didesain dengan kemampuan ketahanan terhadap kejadian eksternal berupa kejadian gempa bumi, kejadian banjir, kejadian karena topan, badai, angin ribut, dan petir, tubrukan pesawat, dan telah diperhitungkan dari pengaruh kecelakaan jalur lalu lintas serta kejadian fasilitas terdekat.

**c. *Updating Design Sesuai Pemutakhiran Tapak***

Pemutakhiran analisis tapak dilakukan RSG-GAS yang saat ini dalam tahap operasi dan hasilnya dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk LAK RSG-GAS, hal tersebut dinyatakan kode MS, HS, RE, dan IK, serta dalam LAK dinyatakan dalam Bab III mengenai Karakteristik Tapak dan Bab XIV mengenai Pengelolaan Pemantauan Lingkungan.

*Updating design* sesuai pemutakhiran tapak, RSG-GAS pada tahun 2014-2016 DPFK-BRIN melakukan evaluasi karakteristik tapak kawasan Serpong. Studi menunjukkan bahwa terdapat peningkatan PGA. Kesimpulan studi tersebut kemudian dipergunakan dalam evaluasi karakteristik tapak dan desain gedung dan struktur pada evaluasi dokumen penilaian keselamatan berkala sebagai syarat permohonan perpanjangan izin operasi RSG GAS di tahun 2020, sesuai kode MS, HS, RE, dan IK.

**d. *Penilaian Bahaya Alam Konservatif***

Penilaian bahaya alam konservatif misalnya terhadap gempa *ekstrem* dilakukan sebagai upaya penggunaan desain konservatif

dan berkualitas tinggi di konstruksi juga di operasi RSG-GAS pada penerapan pertahanan berlapis sesuai kode MS, HS, RE, dan IK. Dalam LAK RSG-GAS Bab 3 Karakteristik Tapak RSG-GAS berdasarkan analisis gravitasi dalam radius 25 km, tidak ada indikasi kesalahan permukaan. Hal ini sejalan dengan hasil survei geologi dan geofisika (GPR, Geolistrik, MT Elektromagnetik, Refraksi Seismik, Refleksi Seismik, dan Magnetik). Hasil evaluasi tapak RSG-GAS yang meliputi analisis dan interpretasi data geologi dan geofisika dalam radius 25 km serta data gempa, data deformasi, dan paleoseismologi atau parit uji. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tapak RSG-GAS tidak terdapat patahan kapabel dan patahan permukaan dalam radius 5 km. Hasil analisis tersebut, juga menunjukkan bahwa tapak RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter). Apabila dikaitkan dengan gempa besar (skala > 6 Richter) di tapak RSG-GAS belum pernah terjadi, sesuai pemantauan instrumen gempa milik BRIN yang fokus pada radius 5 km dan juga berdasarkan katalog USGS dan BMKG. Percepatan tanah puncak di batuan dasar periode ulang 10.000 tahun adalah 0,57g dan periode ulang 1.000 tahun adalah 0,29g, hal ini menunjukkan bahwa nilai PGA masih memenuhi.

**e. Desain Terhadap Kecelakaan Parah**

Sebelum terjadi Fukushima kode MS, RE, dan IK melakukan analisis keselamatan untuk risiko kecelakaan dasar desain yang dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk LAK pada saat permohonan izin mengajukan persetujuan desain RSG-GAS. Analisis keselamatan telah dilaksanakan terhadap kecelakaan akibat kehilangan pendingin, berkurangnya fungsi perpindahan panas, kecelakaan insersi reaktivitas, kesalahan penanganan atau

kagagalan peralatan, penglepasan radioaktif dari sub sistem atau komponen, dan masih banyak lagi.

**f. Desain Redundansi**

Kode MS, RE, dan IK, RSG-GAS didesain dengan fungsi redundansi menggunakan peralatan dengan fungsi yang sama tidak hanya satu tapi lebih dari satu. Fungsi tersebut digunakan dengan sistem sama satu detektor satu line dan ada tampilan di *control room* operator. Apabila salah satu tidak berfungsi maka detektor yang lain lagi bisa melakukan *surveilans*, sehingga aman masih ada cadangan. Hal tersebut sejalan dengan LAK Bab 2 Tujuan Keselamatan RSG-GAS. DPFK menetapkan nilai batas maksimum ketersediaan SSK yang penting untuk keselamatan untuk menjamin keandalan yang diperlukan bagi kinerja fungsi keselamatan di reaktor RSG-GAS. Jaminan ini dilaksanakan melalui sistem redundansi dari SSK yang harus dapat dioperasikan dalam kondisi normal maupun kejadian terantisipasi.

**g. Desain Dilengkapi Sistem Pendingin yang Memadai**

Didesain dengan sistem pendingin yang memadai, dari kode MS, HS, RE, dan IK diketahui bahwa sistem pendingin telah didesain untuk tidak kehilangan fungsinya sebagaimana tertuang dalam LAK Bab IV mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS. Beban mekanik pipa pendingin di dalam kolam reaktor dirancang sekecil mungkin untuk mencegah terjadinya kebocoran. Selain itu, mekanik tersebut dapat membatasi atau mencegah kebocoran dari kolam reaktor bahkan pada kondisi-kondisi seismik, secara khusus disekat oleh *joint-sheet* dan Beton tahan air sesuai. Semua hal ini telah sesuai dengan DIN 1048. Semua sambungan dan penetrasi di bentuk dari lapisan-lapisan dengan ketebalan

maksimum 50 cm yang dipadatkan. Pipa pendingin dirancang untuk mampu menahan gempa. Selain itu, sistem redundansi dan sistem kelistrikan merupakan aspek yang diperhatikan pada sistem pendingin.

#### **4.3.1.2 Struktur**

##### **a. Penilaian Ulang Kerentanan Struktur**

Struktur RSG-GAS penting diperhatikan sebagai upaya mitigasi kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS. Hasil pengolahan data diambil dari 4 (empat) Narasumber terkait dengan variabel: 1). Penilaian ulang kerentanan struktur; 2). memasang cadangan tambahan sumber daya listrik; 3). Struktur pengungkung handal; 4). Kekuatan struktur teras; 5). Kekuatan struktur dari gempa; 5). Kekuatan struktur dari kejatuhan pesawat terbang.

Penilaian ulang kerentanan struktur RSG-GAS dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur RSG-GAS, kode MS, HS, RE, dan IK juga Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS mampu terhadap ancaman gempa bumi, banjir, topan, badai, angin ribut, dan petir, tubrukan pesawat yang dijelaskan dalam LAK Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS.

##### **b. Cadangan Tambahan Sumber Daya Listrik**

Memasang cadangan tambahan sumber daya listrik, kode HS, MS, IK, sistem kelistrikan di reaktor tidak hanya mengandalkan sumber dari PLN. Tetapi ada sistem backup yaitu berbentuk baterai menjalankan fungsi yang tetap harus online. Peralatan dosimeter yang dibawa personil pada saat bekerja dan menimbulkan suara alarm apabila NBD terlampaui dijalankan oleh baterai dan tidak bergantung pada catu daya listrik. Pada LAK Bab 2 mengenai Tujuan Keselamatan RSG-GAS, sistem

catu daya yaitu DC membutuhkan daya yang tidak terputus selama kehilangan daya normal sampai hidupnya diesel generator. Sistem ini terdiri atas tiga redundan yang dipasok oleh rectifier dan baterai.

**c. Struktur Pengungkung Handal**

Struktur pengungkung handal, MS, RE, IK dan HS dalam LAK Bab 16 mengenai Analisis Keselamatan RSG-GAS, kebolehjadian kebocoran pada struktur pengungkung kolam adalah sangat kecil. Spesifikasi beton penyusun struktur difabrikasi dengan kualifikasi anti bocor.

**d. Kekuatan Struktur Teras**

Kekuatan struktur kolam kode MS, ZK, RE dalam LAK Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS disediakan dengan perisai beton yang memiliki kerapatan tinggi dan berbentuk segi empat dengan dasar rata.

**e. Kekuatan Struktur Terhadap Gempa**

Kekuatan struktur RSG-GAS dari gempa, kode MS, IK, RE tahan sampai 0,25 g (percepatan tanah 2,5 m/s<sup>2</sup>) untuk gedung, sistem dan komponen yang mempunyai fungsi keselamatan. Kode HS, menganalisa dan mengukur besar intensitas gempa maksimum di daerah tapak dalam 10.000 tahun, apakah ada keboleh jadian 0,6 G setara dengan 6-12 skala mmi sehingga evaluasi tapak menjadi penting dalam mitigasi.

**f. Kekuatan Struktur Terhadap Kejatuhan Pesawat Terbang**

Kekuatan struktur dari kejatuhan pesawat terbang, kode MS, IK, RE, HS dalam LAK Bab 3 mengenai Karakteristik Tapak RSG-

GAS, struktur dinding RSG-GAS dibangun dengan ketebalan dengan ketebalan  $\pm 1$  meter

#### 4.3.1.3 Sistem Deteksi

Sistem deteksi menjadi sangat penting sebagai sistem informasi apabila terjadi *anomaly* hingga terjadi lepasan radioaktif. Sistem deteksi memiliki variabel yang diamati, antara lain: 1). Sistem deteksi kebakaran; 2). Sistem deteksi gempa; 3). sistem deteksi radiasi terintegrasi dengan sistem deteksi dini untuk bencana konvensional dan terintegrasi dengan Pemda serta pusat; dan 4). Sistem deteksi dini di dalam reaktor yang mendeteksi terjadinya sistem yang *unstable*.

##### a. Sistem Deteksi Kebakaran

Sistem deteksi kebakaran diberikan kode MS, IK, ZK, RE tiap lokasi dipasang sistem monitor dan peralatan Damkar. Dalam LAK Bab 2 Tujuan Keselamatan RSG-GAS, alat deteksi kebakaran menggunakan *smoke detector*, untuk mencegah meluasnya kebakaran dengan *fire damper* sistem udara segar dan udara buang dari bagian yang mengalami kebakaran menutup dengan terputusnya pin penahan fire damper, proteksi kebakaran sesuai SOP Damkar.

##### b. Sistem Deteksi Gempa

Sistem deteksi gempa kode MS, IK, RE memiliki instrumentasi seismik berfungsi merekam sejarah kecepatan dan percepatan gempa bumi. Transduser gempa di RSG-GAS dipasang di titik-titik pondasi gedung reaktor, hal yang sama juga dinyatakan dalam LAK Bab 2 mengenai Tujuan dan Keselamatan RSG-GAS

**c. Sistem Deteksi Dini Terintegrasi dengan Sistem Deteksi Dini Bencana Konvensional, dan Terintegrasi dengan Pemerintah**

MS, IK, HS, DA, sistem deteksi radiasi diletakkan di dalam dan di luar RSG-GAS yang bisa dipantau secara online oleh operator. Sistem deteksi di dalam RSG-GAS diletakkan di ruang operasi RSG-GAS diberikan dalam Gambar 4.40. Semua petugas RSG-GAS dalam melakukan pekerjaannya, juga dilengkapi alat detektor radiasi.



**Gambar 4.40 Sistem Deteksi Radiasi**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

Sistem deteksi radiasi terintegrasi dengan sistem deteksi dini untuk bencana konvensional dan sistem peringatan dini terintegrasi ke Pemda dan pemerintah pusat ada di kode ZK, HS. Dalam rencana pengembangan, saat ini masih berkoordinasi dengan BMKG dan instansi terkait. Sistem deteksi radiasi kode MS, IK, AM, RB, ZK, EN dimiliki mulai dari alat dosimeter yang dipasang di baju petugas/personil pada saat bekerja di daerah radioaktif. Sistem deteksi radiasi terpasang di area kolam reaktor, sampai alat deteksi radiasi yang dipasang di KNS, di luar KNS termasuk pemantauan

dosis ke lingkungan yang dilakukan berkala terhadap tanah, air, udara.

**d. Sistem Deteksi Dini Mendeteksi Sistem *Unsuistable***

Sistem deteksi dini di dalam reaktor yang mendeteksi terjadinya sistem yang *unsuistable* dengan kode MS, IK masih dalam kajian dan pernah bekerjasama dengan PLTN Belanda, akan direalisasikan walaupun biayanya cukup besar apabila peraturan mengatur hal tersebut.

**4.3.2 Mitigasi Nonstruktural**

**4.3.2.1 Peraturan Perundang-undangan**

Peraturan Peraturan perundang-undangan menjadi landasan dari kegiatan terkait mitigasi menghadapi kegagalan teknologi nuklir dengan variabel: 1). Independensi BAPETEN; 2). Peraturan ditinjau misi IAEA; 3). Peraturan terkait faktor alam; 4). Peraturan terkait identifikasi kerentanan; 5). Peraturan desain mempertimbangkan kejadian eksternal; 6). Peraturan terkait gempa dan kejadian alam lainnya; 7). Peraturan terkait kompetensi petugas RSG-GAS; 8). Peraturan terkait Tanggung jawab dan kewenangan instansi terkait dalam kedaruratan nuklir.

**a. Independensi BAPETEN**

Independensi BAPETEN kode HS, DA, RE, MS, RB dibuktikan dengan UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Dalam UU tersebut, BAPETEN berkedudukan langsung di bawah Presiden Republik Indonesia. Yang dibentuk melalui Keputusan Presiden Nomor 76 Tahun 1998 tentang Bapeten tanggal 19 Mei 1998 sebagaimana telah diubah dalam Perpres Nomor 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan,

Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian.

DA, BAPETEN apabila dibandingkan dengan badan pengawas nuklir Malaysia yaitu AELBE, dan Bapeten Philippine yaitu PNRI masih lebih independen. AELBE tidak mengawasi pemanfaatan zat radioaktif di RS, yang mengawasi adalah kementerian kesehatan PNRI masih berkedudukan menyatu dengan badan penelitian pemanfaatan tenaga nuklir.

#### b. Review Misi IAEA Terhadap Peraturan Bapeten

Bapeten sebagai badan pengawas telah mendapatkan nilai dari IRRS IAEA, dan peraturan yang berlaku sebagai ketentuan hukum dalam pemanfaatan tenaga nuklir juga telah diriview IRRS terkait implementatif peraturan yang diberikan dalam Gambar 4.41.



**Gambar 4.41 Evaluasi Peraturan Oleh IRRS**

Sumber: Alamsyah (2018), dokumentasi Bapeten.go.id

#### c. Peraturan Desain Terhadap Bahaya Eksternal

BAPETEN telah banyak menerbitkan peraturan baik untuk reaktor daya (PLTN) dan reaktor nondaya (RSG-GAS) kode HS, RE, DA, ZK, MS, IK terkait desain mempertimbangkan kejadian

internal dan eksternal dalam PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Peraturan lebih teknis turunan dari PP tersebut diatur dalam PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nodaya. PerBAPETEN mewajibkan desain RSG-GAS mempertimbangkan kejadian eksternal seperti aspek kegempaan, kegunungapian, kebakaran, dan *human induced hazard*. Peraturan terkait RSG-GAS untuk kejadian eksternal antara lain PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan, PerBAPETEN Nomor 2 Tahun 2009 tentang Penyusunan Daftar Informasi Desain, PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2008 tentang Ketentuan Keselamatan Manajemen Penuaan Reaktor NonDaya.

#### **d. Peraturan Kompetensi Petugas RSG-GAS**

Peraturan mengenai kompetensi petugas RSG-GAS, kode HS, RE, DA, ZK, MS, IK telah diterbitkan BAPETEN yaitu PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir. Dalam peraturan tersebut, mengatur petugas RSG-GAS berkompeten dalam menjalankan tugasnya. Peraturan tersebut berisi persyaratan dan tata cara memperoleh Izin Bekerja bagi petugas IBN termasuk pengelompokan Petugas IBN; persyaratan untuk memperoleh Izin Bekerja; Pelatihan dan Kompetensi; Kualifikasi; penerbitan, masa berlaku, dan perpanjangan Izin Bekerja; dan berakhirnya Izin Bekerja izin bekerja bagi petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir menjadi syarat dalam

permohonan izin komisioning instalasi nuklir (Pasal 26 ayat 3 dan Pasal 76 ayat 3 PP 2 Tahun 2014).

**e. Peraturan Tanggung Jawab dan Kewenangan Pemangku Kepentingan pada Penanggulangan Kedaruratan Nuklir**

Kode HS, RE, ZK, DA terkait pengaturan tanggung jawab dan kewenangan instansi terkait dalam kedaruratan nuklir sudah disusun pedoman OTDN yang tidak hanya mengatur peran BRIN, BAPETEN saja tapi juga mengatur peran Pemda, BPBD, BNPB, POLRI, TNI dan instansi terkait. Pedoman tersebut akan diperkuat landasan hukumnya kode HS dalam revisi PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.

#### **4.3.2.2 Pelatihan**

Pelatihan dalam rangka peningkatan kompetensi petugas/personil RSG-GAS dalam bekerja dan penanggulangan kedaruratan merupakan mitigasi yang dibutuhkan, untuk itu peneliti menggunakan variabel: 1). Pelatihan petugas RSG-GAS; 2). Pelatihan/Drill BDBA Petugas RSG-GAS; Pelatihan kedaruratan instalasi; 3). Pelatihan kedaruratan Provinsi; 4). Pelatihan Kedaruratan Nasional.

**a. Pelatihan Petugas RSG-GAS**

DPFK-BRIN kode MS, IK, RE, HS, DA telah mengikutsertakan pelatihan kepada semua petugas yang bekerja di RSG-GAS untuk meningkatkan kompetensi dalam pengoperasian RSG-GAS diberikan pada Gambar 4.2. BAPETEN juga telah memastikan kompetensi petugas RSG-GAS dengan pemberian izin bekerja dan perpanjangan izin bekerja sesuai persyaratan dalam PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir dan hal tersebut

dipastikan BAPETEN dengan melakukan inspeksi ke RSG-GAS untuk menjamin keselamatan dan keamanan RSG-GAS.



**Gambar 4.42. Workshop Petugas RSG-GAS**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

#### **b. Pelatihan/Drill BDBA Petugas RSG-GAS**

RSG-GAS kode MS, IK, RE telah melakukan drill/simulasi terkait analisis kejadian BDBA di RSG-GAS. Dari simulasi tersebut, kompetensi Petugas RSG-GAS menjadi bertambah dalam mempertahankan dan mengembangkan RSG-GAS guna meningkatkan keselamatan dan keamanan RSG-GAS.

#### **c. Pelatihan Kedaruratan Nuklir**

Pelatihan kedaruratan nuklir di RSG-GAS dengan kode MS, IK, RE, HS, ZK, DA, EN telah dilakukan untuk tingkat instalasi 1 (satu) tahun sekali, untuk tingkat provinsi 2 (dua) tahun sekali, dan untuk tingkat nasional 4 (empat) tahun sekali. Kode RB pelatihan kedaruratan belum sampai proses evakuasi kepada masyarakat.

Kode DA, RSG-GAS dalam melakukan pelatihan tingkat instalasi melibatkan PRPIKSN sebagai pengelola kawasan yang mempunyai tim Damkar dan perawatan tim medis. Selain itu,

RSG-GAS juga melibatkan pengelola kawasan puspiptek dan BPBD tergantung skenario kedaruratan yang disusun.

Kode DA, ZK untuk pelatihan kedaruratan provinsi dilakukan terakhir 2018 dan pelatihan kedaruratan Nasional dilakukan pada tahun 2016 yang melibatkan tokoh masyarakat, Ibu walikota, nubika, Damkar, BPPT.

#### **d. Pelatihan Kedaruratan Dokkes RS**

Petugas kesehatan RS kode ZK dan DA telah mendapatkan pelatihan kedaruratan nuklir yang dilakukan kepada RS yang ditunjuk dalam PerMenkes RI Nomor HK.01.07/MENKES/420/2018 tentang RS Rujukan Bencana Nuklir Nasional. RS tersebut adalah RS Fatmawati, RS Hasan Sadikin, dan RS Sardjito. Pelatihan kedaruratan juga diberikan kepada Dokkes Kepolisian Resor (POLRI). Pelatihan kedaruratan dilakukan untuk peningkatan kompetensi Dokkes terkait penanganan pasien yang terkena paparan radiasi.

#### **4.3.2.3 Sosialisasi**

Sosialisasi menjadi penting dilakukan untuk memberi informasi terkait nuklir agar koordinasi pelatihan/drill efektif dan agar masyarakat mempunyai kemampuan dalam mengurangi risiko akibat lepasan radioaktif, dengan variabel: 1). Sosialisasi terkait nuklir kepada Pemda dan pemerintah pusat; dan 2). Sosialisasi kepada masyarakat.

##### **a. Sosialisasi Kepada Pemerintah, Pemda dan Pemangku Kepentingan**

Sosialisasi kode MS, IK kepada Pemda dan pemerintah pusat telah diberikan BRIN dalam rapat koordinasi ataupun Tabletop Exercise diberikan dalam Gambar 4.43. BRIN mengundang kepala daerah di sekitar lokasi KNS memberikan informasi

terkait nuklir. Kode DA, sosialisasi dilakukan dalam bentuk bimbingan teknis ke bea cukai, polri, gegana.



**Gambar 4.43 Koordinasi Dengan Pemangku Kepentingan**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php>

#### **b. Sosialisasi Kepada Masyarakat**

Sosialisasi kepada masyarakat kode MS, IK telah dilakukan berpuluh-puluh tahun oleh BRIN dalam bentuk sarasehan dan diskusi. Kode DA, BRIN mempunyai program sosialisasi ke masyarakat karena selama instalasi beroperasi sampai berakhir mempunyai kewajiban sosialisasi. Kode RE, sosialisasi dilakukan kepada masyarakat untuk memberikan informasi terkait perpanjangan izin operasi RSG-GAS.

### **4.3.3 Lesson Learned**

#### **4.3.3.1 Desain**

Setelah Bencana Fukushima kode MS, IK, RE, HS, analisis keselamatan terhadap risiko kecelakaan mempertimbangkan kecelakaan melampui dasar desain (BDBA) terhadap desain yang dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk dokumen LAK. LAK ini, sebagai persyaratan pengajuan izin perpanjangan operasi RSG-GAS. Simulasi dilakukan seolah-olah RSG-GAS diterpa gempa besar sehingga kehilangan catu daya listrik (*station blackout*) mirip bencana Fukushima. Hasil simulasi dinyatakan RSG-GAS tetap aman dengan desainnya sehingga tidak perlu

mengalami perubahan desain dan hasil simulasi menjadi dasar dalam penerapan program kedaruratan nuklir.

Lebih rinci terkait simulasi diberikan dalam LAK Bab 16, bahwa kecelakaan reaktor nuklir di Fukushima Daiichi telah mengubah paradigma LAK, sehingga analisis keselamatan BDBA pada RSG-GAS dilakukan pada: 1). analisis LOFT dari sistem pendingin primer yang tak terproteksi; 2). analisis kecelakaan 5 (lima) bahan bakar meleleh dan dampak radiologi ke lingkungan; dan 3). analisis temperatur bahan bakar di rak kolam penyimpanan bahan bakar teriradiasi akibat kehilangan aliran pendingin.

Hasil pada simulasi LOFT menunjukkan bahwa tidak ada tekanan signifikan yang dapat menyebabkan kerusakan bahan bakar. Sedangkan hilangnya pendingin pada kolam penyimpanan bahan bakar teriradiasi di reaktor menunjukkan bahwa sisa energi yang dibangkitkan sangat rendah mencapai 5 Watt per pelat bahan bakar sehingga keselamatan terpenuhi.

#### **4.3.3.2 Struktur**

Lesson learned dari kejadian PLTN Fukushima terhadap struktur RSG-GAS kode MS, IK, RE pada variabel penilaian ulang kerentanan struktur. Dalam LAK Bab 4 mengenai Gedung dan Struktur RSG-GAS dilakukan dilakukan pengujian struktur RSG-GAS bekerjasama dengan tim inspeksi B2TKS BPPT.

Pengujian struktur dilatar belakangi adanya ketentuan gravitasi periode ulang gempa 10.000 tahun dengan gempa skala >6 Rischter. Namun di tapak RSG-GAS sampai saat ini belum pernah terjadi gempa sebesar itu dan di tapak RSG-GAS tidak ada patahan permukaan dalam radius 5 km (lima kilo meter). RSG-GAS juga telah melakukan pemantauan instrumen gempa berdasarkan katalog USGS dan BMKG. Percepatan tanah puncak di batuan dasar periode ulang 10.000 tahun adalah 0,57g dan periode ulang 1.000 tahun adalah 0,29g. Hal ini

menunjukkan bahwa nilai PGA masih memenuhi ketentuan, tidak melampaui 0,60g. Dengan pertimbangan tersebut, pada dokumen LAK RSG-GAS, menginformasikan telah melakukan pengujian struktur RSG-GAS bekerjasama dengan tim inspeksi B2TKS BPPT, dengan hasil reaktor RSG-GAS masih aman dan memenuhi syarat kekuatan SNI 2847:2013.

#### **4.3.3.3 Sistem Deteksi**

Sistem peringatan dini perlu untuk menjamin keselamatan dan keamanan RSG-GAS setelah kejadian PLTN Fukushima. BAPETEN sebagai badan pengawas yang mempunyai kewajiban melapor ke IAEA terkait keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia. Laporan tersebut memuat pemanfaatan tenaga nuklir di RSG-GAS sudah mulai berkoordinasi dengan instansi terkait. Laporan tersebut harus memenuhi variabel: 1). sistem deteksi radiasi terintegrasi dengan sistem deteksi dini untuk bencana konvensional; dan 2) sistem peringatan dini terintegrasi ke Pemda dan pemerintah pusat.

Untuk variabel penelitian terhadap sistem deteksi dini di dalam reaktor yang mendeteksi terjadinya sistem yang *unstable* di RSG-GAS sedang dalam kajian DPFK-BRIN untuk pengembangan *Early Anomaly Detection* RSG-GAS secara online yang pernah bekerjasama dengan PLTN Belanda terkait hal tersebut.

#### **4.3.3.4 Peraturan Perundang-undangan**

Peraturan Perundang-undangan terus diperbaharui sesuai perkembangan jaman, termasuk *lesson learned* terhadap Fukushima. Kode HS sedang melakukan penyusunan revisi PerBAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya sesuai dengan referensi IAEA terbaru hasil *lesson learned* Fukushima. Revisi peraturan tersebut akan diberlakukan juga untuk reaktor non-daya (RSG-GAS) jadi tidak hanya untuk reaktor daya (PLTN).

BAPETEN juga akan merevisi Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 untuk mengakomodir kecelakaan parah pada reaktor yang dikategorikan dalam revisi PerBAPETEN dan untuk mengatur juga tugas, tanggung jawab dan kewenangan instansi terkait dalam kedaruratan nuklir.

#### **4.3.3.5 Pelatihan**

Pelatihan terkait *lesson learned* Fukushima kode MS, IK, RE telah dilakukan BRIN dalam simulasi kejadian terparah di reaktor (BDBA) sebagai tindakan mitigasi untuk mengetahui ketahanan RSG-GAS apabila reaktor diterpa gempa ekstrem. Kode ZK, DA, setelah Fukushima telah dilakukan pelatihan kedaruratan terhadap Dokkes pada tiga RS yang ditunjuk yaitu RS Fatmawati, Sardjito, dan Hasan Sadikin.

#### **4.3.3.6 Sosialisasi**

Sosialisasi kode PZ dalam bentuk koordinasi setelah Fukushima dilakukan antara ITB, BRIN, BAPETEN. Kode MS, IK setelah Fukushima koordinasi dengan BAPETEN, pihak akademik, dan instansi terkait lebih sering dilakukan.

### **4.4 Hasil Analisis Data**

Hasil analisis data dilakukan dengan cara triangulasi hasil pengolahan data. Triangulasi ini dilakukan dari hasil penelitian terdahulu dan sumber lainnya. Subyek triangulasi dikaitkan dengan desain, struktur, sistem deteksi, Peraturan PerUUan, pelatihan, dan sosialisasi. Subyek ini berisi: 1). mitigasi struktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS; 2). mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS; dan 3). lessons learned kejadian bencana PLTN Fukushima Daiichi terhadap upaya mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman

bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS.

#### **4.4.1 Mitigasi Struktural**

##### **4.4.1.1 Desain**

###### **a. Evaluasi Karakteristik Tapak**

Evaluasi karakteristik tapak dilakukan sebelum mendapatkan persetujuan desain dari BAPETEN sudah sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014. Pada saat pengajuan persetujuan desain melengkapi persyaratan evaluasi karakteristik tapak yang dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk dokumen LAK, pernyataan yang sama diperoleh dari Hastuti (2013) bahwa dokumen LAK berisi analisis keselamatan untuk menjamin keselamatan pengoperasian reaktor nuklir. Aly (2016) juga menegaskan, laporan lingkungan harus diserahkan untuk mendukung laporan evaluasi tapak sebagai bagian dari dokumen yang diperlukan selama tahap izin tapak dan dimutakhirkan selama tahap konstruksi dan operasi dan selanjutnya dalam tahap dekomisioning.

Evaluasi tapak yang dilakukan RSG-GAS meliputi aspek kegempaan, kegunungapian, geoteknik, meteorologi dan hidrologi, ulah manusia, dan dispersi zat radioaktif sudah sesuai dengan PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir Pasal 9. Hal tersebut juga sudah sesuai dengan penelitian yang dilakukan Pandi (2011) evaluasi tapak dilakukan mempertimbangkan kejadian alam maupun kejadian akibat kegiatan manusia.

###### **b. Desain Mempertimbangkan Karakteristik Tapak**

RSG-GAS didesain dengan kemampuan ketahanan terhadap kejadian internal dan eksternal. Harianto et al,

(2017) merekomendasikan bahwa karakteristik tapak aspek meteorologi (eksternal) digunakan untuk mendapatkan nilai yang dapat digunakan sebagai parameter dasar desain reaktor aspek meteorologi di Serpong, untuk keperluan desain dan konstruksi reaktor. Ade (2019) juga menyampaikan dalam kajian mitigasi dan adaptasi perubahan iklim melalui energi nuklir di Indonesia bahwa pemantauan dan pengumpulan data dan informasi meteorologi di tapak dan luar tapak menjadi penentuan nilai parameter dasar desain. Dalam LAK RSG-GAS juga telah melakukan analisis pemantauan data dan informasi meteorologi di tapak diatur dalam bab 3 karakteristik tapak dan bab 14 pengelolaan dan pemantauan lingkungan.

**c. *Updating Design Sesuai Pemutakhiran Tapak***

Pemutakhiran evaluasi tapak pada tahap operasi dilakukan, dengan hasil adanya peningkatan PGA. Peningkatan tersebut, masih dapat diterima desain, desain masih tahan terhadap ancaman internal dan eksternal, hal ini sesuai dengan PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Reaktor dan PerBAPETEN tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir dan publikasi. Kim (2016), setelah Fukushima sebagian besar negara pengoperasi PLTN telah melakukan perbaikan sebagai tindakan pencegahan kecelakaan yang kapan saja dapat terjadi.

**d. *Penilaian Bahaya Alam Konservatif***

Penilaian bahaya alam konservatif terhadap gempa ekstrem salah satunya dilakukan DPFK-BRIN sebagai upaya penggunaan desain konservatif. Dengan melakukan analisis dan interpretasi data geologi dan geofisika dalam

radius 25 km (dua puluh lima kilo meter) serta data gempa, data deformasi, dan paleoseismologi atau parit uji. Yang (2014), menghasilkan pentingnya penilaian risiko untuk bahaya gabungan yang mengarah ke manajemen risiko. Penilaian risiko berguna untuk mengidentifikasi kerentanan sistem khususnya dalam pengelolaan risiko. Pengelolaan risiko ini memberikan fitur keselamatan untuk manajemen kecelakaan parah terus ditingkatkan secara berkala dengan mempertimbangkan perspektif risiko. Azmiyati (2019) menyarankan untuk mengurangi risiko dilakukan penilaian risiko multi bencana, sebagai langkah awal untuk membantu manajemen bencana. Penilaian risiko multi bencana yang telah dilakukan menghasilkan peta risiko terintegrasi. Penilaian risiko terpadu multi bencana mencakup empat elemen yaitu peta bencana, peta bencana berisi informasi tentang jenis-jenis bencana yang mungkin terjadi. Dari peta bencana kemudian dibuat peta bahaya terintegrasi. Setelah itu dianalisis kerentanan wilayah dan ditampilkan sebagai peta kerentanan. Peta kerentanan disusun berdasarkan informasi paparan lokasi terhadap bencana, dan berdasarkan kapasitas lokasi. Analisis terakhir adalah membuat peta risiko terintegrasi yang berisi kombinasi peta bencana terintegrasi dan peta kerentanan. Analisis telah dilakukan sehingga menghasilkan distribusi spasial kejadian multi-bencana, multi-kerentanan, dan peta risiko terintegrasi.

**e. Desain Terhadap Kecelakaan Parah**

Sebelum terjadinya Fukushima, RSG-GAS telah melakukan analisis keselamatan terhadap risiko kecelakaan dasar desain. Namun RSG-GAS belum mempertimbangkan

kecelakaan melampaui dasar desain (BDBA) yang disebabkan bahaya gabungan. Sukarno (2019) menyebutkan, kecelakaan Fukushima terjadi karena belum ada penerapan ketentuan DEC (*design extension condition*) dalam desain reaktor. Joon (2014) menekankan sebelum terjadinya kecelakaan Fukushima sebagian besar PLTN di dunia tidak siap untuk kecelakaan multi unit dalam waktu yang sama, termasuk kehancuran infrastruktur di jalan sekitar PLTN karena didasarkan pada kriteria deterministik. Setelah bencana Fukushima, penilaian risiko bahaya alam dipertimbangkan dalam analisis probabilistik, kejadian alam termasuk efek gabungan dari peristiwa seismik dan tsunami yang terjadi di Fukushima. Kerangka kerja penilaian risiko tertintegrasi akan sangat membantu dalam mengatasi. Zhang (2013), menyampaikan bahwa di Qinshan China juga telah melakukan skenario kecelakaan parah (BDBA) pada reaktornya untuk mengetahui ketahanan dari reaktor dan menambah sistem pendukungnya seperti generator diesel seluler.

**f. Desain Redundansi**

RSG-GAS didesain dengan fungsi redundansi menggunakan peralatan dengan fungsi yang sama tidak hanya satu tapi lebih dari satu, dengan sistem sama satu detektor satu *line* dan ada tampilan di *control room* operator. Sehingga apabila salah satu tidak berfungsi satunya lagi bisa *surveilans*, maka cadangan masih bisa difungsikan. Hal ini sesuai dengan prosedur IAEA Tecdoc 1770 tentang *Design Provisions for Withstanding Station Blackout at NPP*. Prosedur ini memerlukan banyak fitur yang didesain ganda untuk mendapatkan sistem tenaga listrik yang andal guna

memberikan pertahanan yang berbeda. Prosedur ini juga berlaku untuk sistem jaringan dan *power systems* lainnya.

**g. Desain Dilengkapi Sistem Pendingin yang Memadai**

Sistem pendingin RSG-GAS telah didesain agar tetap pada fungsinya, sehingga sistem pendukungnya didesain dengan spesifikasi khusus tahan terhadap gempa dan pada saat kegagalan terjadi. Sistem pendukung tetap berfungsi mendinginkan panas sisa reaktor walaupun tanpa bantuan daya listrik, spesifikasi yang sama juga diberikan Kim (2016) untuk meningkatkan desain konseptual pasif dengan meningkatkan kemampuan sistem pendingin, sehingga kecelakaan tanpa daya listrik dapat dicegah. Hal yang sama juga pada publikasi Neo (2019) bahwa komponen terpenting dalam desain reaktor nuklir dengan mengembangkan alat pendingin yang mampu bersirkulasi secara alami (*natural circulation*).

**4.4.1.2 Struktur**

**a. Penilaian Ulang Kerentanan Struktur**

RSG-GAS melakukan analisis ketahanan gedung dengan mempertimbangkan hasil studi karakteristik tapak yang dilakukan tim inspeksi B2TKS-BPPT, keadaan ini sama dengan publikasi Park (2017) dalam Updating Seismic PSA for OPR-1000 bahwa evaluasi bahaya seismik dilakukan untuk evaluasi kerapuhan untuk memperkirakan kegagalan SSK

**b. Cadangan Tambahan Sumber Daya Listrik**

Sistem kelistrikan di reaktor tidak hanya mengandalkan sumber dari PLN, namun sistem *backup* tetap bekerja dengan baik untuk menggantikan sistem yang sama terjadi

*anomaly*, Tecdoc 1170 merekomendasikan desain reaktor memiliki ukuran dan kualifikasi peralatan khusus dengan kriteria untuk cadangan daya seperti genset diesel darurat atau sumber daya AC alternatif.

**c. Struktur Pengungkung Handal**

Struktur pengungkung kolam RSG-GAS handal karena Spesifikasi beton penyusun struktur difabrikasi dengan kualifikasi anti bocor. Suwanto (2005), menyampaikan pengungkung dirancang sebagai antisipasi kemungkinan terjadinya kebocoran bahan bakar akibat proses pembakaran di dalam teras reaktor. Rekomendasi yang sama juga diberikan pada Tecdoc 1170 bahwa pengungkung reaktor harus terjaga integritasnya. Xu (2020), menyampaikan pemantauan integritas pengungkung dipasang *wireless signal access point* and *a wireless vibration monitoring system* dalam pengungkung (containment).

**d. Kekuatan Struktur Teras**

Struktur kolam RSG-GAS spesifikasinya dengan perisai beton yang memiliki kerapatan tinggi dan berbentuk segi empat dengan dasar rata. Haryanto (2019), untuk mengantisipasi terjadi *Station Black Out* sistem pasif diperlukan. Selain itu, diperlukan struktur UUTR sebagai penopang komponen-komponennya. Untuk mengetahui keamanan penggunaan struktur UUTR sebagai penopang maka dilakukan pengujian secara simulasi menggunakan perangkat lunak analisis struktur.

**e. Kekuatan Struktur Terhadap Gempa**

Kekuatan struktur gedung RSG-GAS tahan gempa sampai 0,25 g (percepatan tanah 2,5 m/ s<sup>2</sup>) Saptowati (2015) menyimpulkan konstruksi harus diperhitungkan terhadap beban struktur gedung tersebut meliputi perhitungan gempa, angin, tornado termasuk akibat penurunan atau penyusutan yang terjadi akibat dari perubahan suhu menyesuaikan dengan perhitungan dalam peraturan pembebanan untuk gedung di Indonesia.

**f. Kekuatan Struktur Terhadap Kejatuhan Pesawat Terbang**

Struktur dinding RSG-GAS dibangun dengan ketebalan ± 1 meter, telah sesuai dengan SSR-2/1 (Rev. 1). SSK reaktor dipertimbangkan terhadap bahaya internal dan eksternal. Bahaya internal berupa kebakaran, ledakan, banjir, generasi rudal, runtuhnya struktur dan benda jatuh, cambuk pipa, dampak jet dan pelepasan cairan dari sistem yang gagal atau dari instalasi lain di reaktor. Bahaya eksternal peristiwa yang berasal dari luar RSG-GAS termasuk gempabumi dan jatuhnya pesawat terbang, fitur juga dipertimbangkan untuk meminimalkan interaksi antar bangunan (termasuk kabel listrik dan kontrol perkabelan). Sugeng (2016) menyampaikan selain kekuatan struktur dilakukan analisis probabilistik terjadi kejatuhan pesawat terbang dari bandara terdekat.

**4.4.1.3 Sistem Deteksi**

**a. Sistem Deteksi Kebakaran**

RSG-GAS mempunyai sistem deteksi kebakaran *smoke detector* dan *fire damper* ditambah dengan pemetaan dan sistem yang dirancang terhadap bahaya internal kebakaran

yang sesuai. RSG-GAS dilakukan revitalisasi pada sistem deteksi kebakaran. Latif (2013), menekankan pentingnya sistem deteksi kebakaran untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan dini dan mengurangi adanya alarm respon dini akibat dari kerusakan komponen pendukungnya. Rizki (2017), juga berpendapat sistem terdiri atas sensor asap, alarm, motor pompa, dan sprinkler. Sensor tersebut akan mendeteksi asap dengan jarak deteksi yaitu 1-2 meter permenit. Selanjutnya pompa akan menyala dan sprinkler akan otomatis menyiram ruangan yang terdeteksi asap. Penyiraman akan terus dilakukan sampai sensor tidak mendeteksi asap pada ruangan tersebut. Pada saat asap telah hilang, pompa akan berhenti bekerja secara otomatis dengan pengaturan timer pada PLC yaitu 15 detik. Setelah 15 detik asap tidak lagi terdeteksi, sehingga pompa dan sprinkler akan berhenti bekerja.

**b. Sistem Deteksi Gempa**

RSG-GAS memiliki instrumentasi seismik berfungsi merekam sejarah kecepatan dan percepatan gempa bumi. Transduser gempa di RSG-GAS dipasang di titik-titik pondasi gedung reaktor. Kurniawan (2020), alat monitoring gempa memberikan informasi ke pengguna serta lokasi gempa terjadi, sistem deteksi lokasi gempa menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560, sensor getaran SW-420 sebagai trigger untuk mengaktifkan GPS sebagai pencari lokasi gempa, kemudian akan dikirimkan notifikasi SMS kepada pengguna berupa pemberitahuan telah terjadi gempa serta terdeteksinya pusat lokasi gempa.

### **c. Sistem Deteksi Dini Terintegrasi dengan Sistem Deteksi Dini Bencana Konvensional dan Terintegrasi dengan Pemerintah**

Sistem deteksi radiasi sudah ada di dalam dan di luar gedung RSG-GAS yang bisa dipantau oleh DPFK-BRIN, PPIKSN-BRIN sebagai pengelola kawasan, dan BAPETEN sebagai badan pengawas yang bertugas memberikan laporan ke IAEA terkait keselamatan dan keamanan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia. Untuk sistem deteksi radiasi yang terhubung dengan sistem deteksi bencana konvensional masih dalam rencana sedang berkoordinasi dengan instansi terkait seperti BMKG. Saat ini masih menganalisa secara manual diantara kedua sistem deteksi tersebut. Yudianto et al (2012), menyampaikan sistem deteksi masih bersifat konvensional dan belum terintegrasi dengan sistem deteksi bencana lain. Selain itu, masih terdapat sistem mono mengakibatkan korban jiwa lebih banyak karena kurang cepat dan akurat. Oleh karena itu sistem deteksi dini didasarkan pada jaringan sensor terintegrasi dan memiliki kemampuan untuk memperoleh informasi jarak jauh sehingga hasil mudah diakses. Hal ini sejalan dengan UU Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi Klimatologi dan Geofisika bahwa pemerintah wajib menyediakan peringatan dini.

Untuk sistem deteksi dini terintegrasi dengan Pemda dan pemerintah pusat agar diterima informasi dengan cepat dan akurat untuk segera melakukan penanggulangan sedang dalam perencanaan. Meiliasari (2021), menyebutkan bahwa untuk mencegah ancaman potensi radiasi diperlukan sistem peringatan dini bencana nuklir yang terintegrasi. Selain itu disebutkan sistem peringatan dini ini mudah diakses oleh

masyarakat secara cepat dan terus menerus sesuai perkembangan kedaruratan. Di lain pihak, sistem ini juga dapat digunakan untuk pengambilan keputusan tindakan pencegahan risiko bencana nuklir. Pengembangan strategi memerlukan landasan hukum peraturan perundang-undangan yang mengatur koordinasi antar kementerian/lembaga. Koordinasi berupa perencanaan sampai penyebaran informasi kepada masyarakat untuk menjamin keselamatan masyarakat, sehingga tercipta keamanan Indonesia.

#### **d. Sistem Deteksi Dini Mendeteksi Sistem *Unsuistable***

Sistem deteksi dini di dalam reaktor sudah ada di RSG-GAS dari yang dipakai setiap petugas reaktor. Deteksi ini dipasang di dinding dekat reaktor, dekat sistem penting tempat ke luarnya lepasan radioaktif. RSG-GAS sudah melakukan kajian terhadap *anomaly detection systems* yaitu sistem yang dapat mendeteksi apabila terdapat anomaly dalam sistem sebelum terjadinya lepasan radioaktif. Subekti (2007), mengingatkan sistem deteksi untuk Reaktor Air Bertekanan (PWR) yang besar dan kompleks memiliki beberapa kesulitan. Untuk mengatasi kesulitan tersebut, diperlukan *anomaly detection* menggunakan *neural networks integrated* untuk meningkatkan keselamatan reaktor. Deteksi *anomaly* ini memberikan informasi anomali yang lebih cepat daripada metode konvensional. Sistem deteksi PWR terhubung secara online dengan sistem akuisisi data. Kombinasi *neural network* dan sistem pakar (*neuro-expert*) digunakan untuk meningkatkan waktu proses dalam pendeteksian anomali. Sistem inti mendiagnosis peringatan dini dari *neural network* untuk menentukan penyebabnya.

Sistem neuro-pakar mendeteksi anomali lebih cepat daripada sistem alarm konvensional.

#### **4.4.2 Mitigasi NonStruktural**

##### **4.4.2.1 Peraturan Perundang-undangan**

###### **a. Independensi Bapeten**

Independensi Bapeten dalam menjalankan tugas pengawasan diatur dan dijamin UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. UU tersebut, memisahkan fungsi pelaksana dan fungsi pengawasan. Bapeten bertanggungjawab langsung kepada Presiden. Namun demikian, terkait program kerja kegiatan dan anggaran, Bapeten dikoordinasikan oleh Kemeristek hingga sebelum Kemenristek bergabung dengan Kemendikbud, sesuai dengan INSAG-17 independensi badan pengawas diperlukan untuk memastikan bahwa keputusan Peraturan Peraturan perundang-undang dapat dibuat dan penegakannya tindakan yang diambil tanpa interaksi yang tidak beralasan dan upaya untuk mempengaruhi pengambilan keputusan Peraturan Peraturan perundang-undang dengan cara yang merugikan keselamatan. Shimizu (2012), menginformasikan setelah Fukushima, Bapeten Jepang memisahkan diri dari kementerian yang sama dengan TEPCO pengoperasi PLTN Fukushima Daiichi. Bapeten Jepang menjadi independen di bawah naungan kementerian lingkungan.

###### **b. Review Misi IAEA Terhadap Peraturan Bapeten**

IRRS-IAEA mereview peraturan yang terkait dengan reaktor daya, reaktor nondaya, INNR, dan fasilitas pengelolaan limbah radioaktif diberikan dalam Gambar 4.44, BAPETEN telah melakukan pengembangan, tinjauan berkala, dan

pembaharuan peraturan secara komprehensif dan sistematis. Safety Fundamentals (SF-1), peraturan dibuat untuk mencegah dan mengurangi risiko radiasi diperlukan harmonisasi terhadap standar nasional dan internasional agar implementatif. Kautsar (2017), menyimpulkan perkembangan Peraturan Peraturan perundang-undangannasional dan standar internasional yang terjadi sejak peraturan tersebut ditetapkan berpengaruh terhadap kemampooterapan dan harmonisasi dengan peraturan lainnya. Ana (2021), menyarankan untuk mengubah peraturan atau menerapkan peraturan yang baru dapat mengurangi risiko bencana yang sama dengan fukushima.



**Gambar 4.44 Laporan Pelaksanaan IRRS IAEA Mission**

Sumber: [iaea.org](http://iaea.org)

### c. Peraturan Desain Terhadap Bahaya Eksternal

Dalam pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir, PI mendesain instalasi nuklir berdasarkan parameter dasar desain tersebut. Desain tersebut mempertimbangkan margin

keselamatan, sehingga diharapkan struktur, sistem dan komponen mampu tahan terhadap kejadian eksternal. Hal yang sama disampaikan Ana (2021) dengan memberikan rekomendasi pentingnya Peraturan Perundang-undangan memperhatikan desain di atas persyaratan tingkat desain untuk infrastruktur.

Peraturan Perundang-undangan yang sudah ada untuk desain mempertimbangkan bahaya internal dan eksternal terdapat pada PerBAPETEN No. 1 Tahun 2011 mengatur Ketentuan Keselamatan yang harus dipatuhi dalam mendesain reaktor. Dalam peraturan ini, PI wajib memastikan bahwa semua kondisi dan kejadian selama umur operasi reaktor yang dapat diperkirakan telah dipertimbangkan dalam dasar desain. Kejadian eksternal telah dipertimbangkan dengan serius dalam desain reaktor. Ancaman tersebut meliputi: Gempa bumi (termasuk seismik yang mengakibatkan patahan dan longsor); Banjir (termasuk luapan akibat kegagalan bendungan, tersumbatnya sungai); Topan, dan missil akibat topan; Badai, angin ribut dan kilat; Ledakan; Tubrukan pesawat; Kebakaran; Tumpahnya racun; Kecelakaan jalur lalu-lintas; dan Efek dari fasilitas didekatnya. Hal yang sama juga dilakukan Kementerian Urusan Sipil dan Biro Statistik Nasional Tiongkok dalam Peraturan PerUJannya mempertimbangkan faktor eksternal yaitu bencana skala besar yang dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian dalam skala besar (Shi and Yuan, 2014 dalam Shi, 2021).

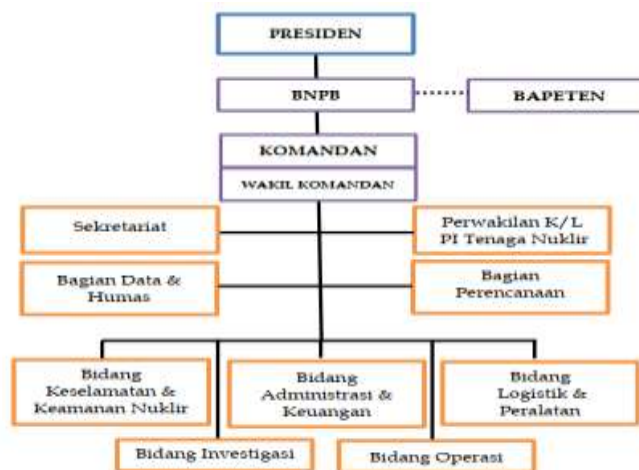
#### **d. Peraturan Kompetensi Petugas RSG-GAS**

Untuk memastikan bahwa instalasi nuklir dioperasikan dengan aman dan selamat, pengoperasian RSG-GAS harus

dipastikan bahwa personel yang mengoperasikan instalasi nuklir memiliki kompetensi dan kualifikasi yang memadai dalam melaksanakan tugas dan kewenangannya. Petugas RSG-GAS termasuk dalam Petugas Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir (IBN) harus memiliki izin bekerja. Pedoman mengenai persyaratan dan tata cara memperoleh Izin Bekerja bagi Petugas IBN didasarkan pada kompetensi diatur dalam PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir Dan Bahan Nuklir. Standar kompetensi untuk petugas IBN diuraikan dalam Lampiran II Peraturan Badan tersebut. Meiliasari (2017) menekankan, pengembangan kompetensi dibutuhkan untuk semua pekerja atau tenaga kerja di bidang apapun. Pengembangan kompetensi untuk petugas instalasi bahan nuklir yang dalam melakukan pekerjaannya berkaitan dengan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Hal yang sama disampaikan Rahayu (2015) bahwa pengusaha mempunyai kewajiban untuk memenuhi seluruh hak setiap pekerja termasuk hak pengembangan kompetensi yang diatur dalam ketentuan hukum yang berlaku. Meiliasari (2019), menegaskan untuk meningkatkan kompetensi Petugas RSG-GAS bisa dilakukan dengan *transfer knowledge* ini diutamakan bagi petugas RSG-GAS yang mengalami kesenjangan umur yang cukup jauh. Hal ini terjadi karena adanya kebijakan moratorium secara nasional dan kebijakan Zero Growth pemerintah. Sehingga ketika agar ketika petugas sudah waktunya purnabakti, petugas penerusnya mempunyai kemampuan yang sama dan tanpa ada kesenjangan yang berarti.

**e. Peraturan Tanggung Jawab dan Kewenangan Pemangku Kepentingan Pada Penanggulangan Kedaruratan Nuklir**

PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir telah mengatur bahwa BNPB dan BPBD menjadi komando untuk kedaruratan nuklir di nasional dan daerah. Namun untuk instansi terkait lainnya masih belum diatur secara rinci tugas dan kewenangannya. Walaupun demikian tataran praktiknya telah dilakukan koordinasi antar pemangku kepentingan sebagaimana dituangkan dalam Pedoman Organisasi Tanggap Darurat Nuklir (OTDN). Pedoman OTDN ini berupa struktur organisasi kedaruratan nuklir nasional dan pembagian tanggung jawab dan kewenangan instansi terkait yang diberikan dalam Gambar 4.45. Sylvana (2020), menitik beratkan bahwa proses penanggulangan kedaruratan sering menunjukkan hasil yang belum maksimal, sehingga banyak keluhan yang dijumpai masyarakat. Dari peristiwa ini, dapat disampaikan kebutuhan pelatihan kedaruratan dan keselamatan dapat tercapai.



Gambar 3.4. Struktur Organisasi Pos Komando Kedaruratan Nuklir Nasional

**Gambar 4.45 Struktur Kedaruratan Nasional Dalam Pedoman OTDN**

Sumber: Dokumentasi KKDN-BAPETEN

#### **4.4.2.2 Pelatihan**

##### **a. Pelatihan Petugas RSG-GAS**

Peningkatan kompetensi petugas RSG-GAS telah dilakukan BRIN, dengan mengikutsertakan petugas RSG-GAS dalam berbagai pelatihan nasional dan internasional sesuai dengan kompetensi dan kebutuhan baik bagi petugas operator, supervisor, petugas perawatan, supervisor perawatan, maupun petugas pengawas inventori bahan nuklir. Pengembangan kompetensi dibuktikan dalam ujian kualifikasi izin bekerja dan perpanjangan izin bekerja. Pernyataan yang sama diberikan Meiliasari (2017), kompetensi sangat dibutuhkan untuk semua pekerja atau tenaga kerja di bidang apapun, terlebih lagi untuk petugas instalasi bahan nuklir yang dalam melakukan pekerjaannya berkaitan dengan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Imron (2017), menyampaikan keterbatasan infrastruktur petugas perawatan akibat keterbatasan kompetensi dan fasilitas pelatihan berpotensi terjadi kerusakan fasilitas nuklir. Secara khusus kerusakan tersebut dapat terjadi fasilitas nuklir non reaktor. Kondisi keterbatasan tersebut harus dihindari karena akan menyebabkan kerugian dan menjadi ancaman keselamatan terhadap pekerja dan masyarakat. Persyaratan kompetensi petugas perawatan harus memiliki SIB sebagai supervisor atau operator INNR dan lulus pelatihan mengenai Perawatan INNR.

##### **b. Pelatihan/Drill BDBA Petugas RSG-GAS;**

Drill BDBA dilakukan oleh petugas RSG-GAS yang bertujuan untuk meningkatkan kompetensi petugas. Hasil drill dapat dipertimbangkan dalam pengembangan kompetensi

petugas, sistem, struktur, dan komponen RSG-GAS. Di pihak lain hasil tersebut juga dapat menjadi landasan dalam program kedaruratan nuklir. Program kedaruratan nuklir harus menjadi landasan dalam pelaksanaan pelatihan kedaruratan. Derek (2013) mendesak bahwa tingkat ketelitian yang tinggi dalam drill BDB diperlukan, oleh karena itu disarankan untuk memiliki panduan pendekatan terstruktur, sistematis, dan berbasis risiko dan tak ketinggalan untuk dilatihkan

### **c. Pelatihan Kedaruratan Nuklir**

Pelatihan kedaruratan menjamin keselamatan masyarakat dilakukan tingkat instalasi, provinsi, dan nasional. Urabe et al. (2014) merekomendasikan tindakan perlindungan mendesak di awal bencana berperan penting sebagai upaya pengurangan bahaya dari kecelakaan nuklir. Untuk mencapai tujuan itu, peningkatan tindakan perlindungan bencana radiologi oleh pemerintah. Pemerintah yang akan memberikan pernyataan awal keadaan darurat bencana, dan melakukan sistem pemantauan radiasi lingkungan untuk menjamin keselamatan masyarakat. Petugas RSG-GAS harus dilatih dalam penanggulangan kedaruratan untuk mengantisipasi keadaan terbutuk. Selain itu masyarakat sekitar RSG-GAS juga perlu dilatih. Sehingga tingkat ketergantungan masyarakat dalam tindakan awal kejadian menjadi faktor keberhasilan apabila terjadi kecelakaan nuklir. Pelatihan komunikasi risiko kepada masyarakat diperlukan guna akibat kegagalan teknologi nuklir. IAEA (2005) menganggap pelatihan tanggap darurat dalam Kawasan nuklir perlu diorganisir dengan baik dan secara profesional. Pelatihan tersebut juga perlu dievaluasi untuk perbaikan

yang konstruktif. Pelatihan tanggap darurat nuklir dan radiologi adalah alat yang ampuh untuk memverifikasi dan meningkatkan kualitas petugas tanggap darurat (Eiji, 1993). Pelatihan perencanaan dan kesiapsiagaan darurat nuklir di Jepang diselenggarakan oleh pemerintah pusat dan daerah berdasarkan UU Dasar Penanggulangan Bencana. Latihan darurat nuklir yang diperlukan di luar instalasi diklasifikasikan menjadi dua jenis. Yang pertama adalah latihan tingkat pemerintah nasional dan latihan tingkat Pemda. Latihan tingkat nasional dilakukan setahun sekali oleh otoritas nasional yang berwenang. Di antaranya otoritas, Badan Sains dan Teknologi (STA) mengisi posisi terdepan dalam perencanaan dan kesiapsiagaan darurat nuklir Jepang. Yang kedua adalah latihan tingkat Pemda dilakukan setahun sekali atau beberapa kali dalam setahun oleh Pemda dari prefektur di mana fasilitas nuklir berada. Tujuan dari latihan ini adalah untuk memperkuat keterampilan staf darurat. Pemerintah pusat menyediakan saran dan bantuan termasuk dukungan keuangan kepada Pemda. Latihan darurat tersebut diikuti partisipasi warga yang dilakukan oleh Pemda.

#### **d. Pelatihan Kedaruratan Dokkes RS**

Secara khusus, Pelatihan Kedaruratan Dokkes RS sudah dilakukan kepada RS rujukan Bencana Nuklir Nasional seperti RS Fatmawati, RS Hasan Sadikin, dan RS Sardjito. Telion (2006) melihat bahwa antisipasi risiko dari radiasi nuklir perlu dilakukan pelatihan bagi staf RS terkait penanganan korban yang terkontaminasi radiasi yang membutuhkan perawatan khusus termasuk fasilitas khusus.

#### 4.4.2.3 Sosialisasi

##### a. Sosialisasi Kepada Pemerintah, Pemda, dan Pemangku Kepentingan

Sosialisasi terkait nuklir kepada Pemda dan pemerintah pusat diberikan BRIN dalam rapat koordinasi. BRIN mengundang kepala daerah di sekitar lokasi KNS memberikan informasi terkait nuklir. Bates (1980) mendesak perlunya pengembangan dan pelaksanaan rencana kedaruratan radiologi dan prosedur untuk fasilitas reaktor riset. Pengembangan ini memerlukan partisipasi dan kerjasama dari beberapa lembaga pendukung *off-site*. Pengembangan tersebut melibatkan pemadam kebakaran dan kepolisian, RS, medis darurat dan ambulans, pelayanan, serta instansi Pemda. Oleh karena itu, diperlukan pengetahuan dasar dalam keselamatan radiasi.

##### b. Sosialisasi Kepada Masyarakat

Sosialisasi kepada masyarakat telah dilakukan berpuluh-puluh tahun oleh BRIN dalam bentuk sarasehan dan diskusi. Adri (2020) menganalisis penanganan bencana Natech di Jepang untuk membangun masyarakat tangguh dan berkelanjutan

#### 4.4.3 Lesson Learned

##### 4.4.3.1 Desain

Setelah bencana Fukushima, RSG-GAS telah melakukan perubahan analisis keselamatan terhadap desain yang semula hanya menilai risiko kecelakaan dasar desain, setelah Fukushima telah melakukan penilaian risiko kecelakaan terparah (BDBA) yaitu kecelakaan melampaui dasar desain. Desain tahan terhadap kecelakaan parah (BDBA) telah dicek dan dilakukan analisis *station blackout* seperti yang terjadi pada Fukushima.

Ana (2021) menekankan pentingnya perhatian desain di atas persyaratan tingkat desain untuk infrastruktur. Kimura (2015) juga menekankan Dewan Eropa melakukan penilaian yang komprehensif dari margin keselamatan (*stress test*) di PLTN untuk mengantisipasi bencana seperti Fukushima Daiichi. *Stress test* perlu dilakukan secara rutin terutama pada review kejadian alam seperti gempa bumi, banjir dan cuaca ekstrim, hilangnya fungsi keselamatan, dan manajemen kecelakaan parah untuk setiap PLTN Eropa. Prosedur *stress test* ini memiliki 3 langkah: 1). operator nuklir melakukan *stress test* dan menyiapkan proposal untuk peningkatan keselamatan; 2). regulator nasional melakukan review independen terhadap *stress test* dan menyiapkan laporan nasional; dan 3). laporan yang disampaikan oleh regulator nasional adalah tunduk pada *peer-review* oleh para ahli di tingkat Eropa. *Federal Agency For Nuclear Control* (2020) menitik beratkan bahwa PI PLTN di Belgia wajib melakukan *nuclear stress-tests action plan* tahun 2011. *Stress-tests action plan* bertujuan untuk mengevaluasi respons fasilitas ketika menghadapi skenario ekstrem yang berbeda. Pelaksanaan tersebut, menunjukkan perbaikan yang dapat diterapkan untuk memperkuat keselamatan

#### **4.4.3.2 Struktur**

*Lesson learned* Fukushima terhadap struktur, dilakukan pengujian struktur bangunan RSG-GAS oleh pihak eksternal. Pengujian tersebut, untuk mengetahui kelayakan struktur yang dibangun interatom internasional dengan kekuatan gempa sebesar 0,25g. Park (2017) mengevaluasi bahaya seismik dilakukan kembali untuk mengembangkan frekuensi spesifik untuk lokasi reaktor. Evaluasi kerapuhan dilakukan kembali untuk memperkirakan probabilitas kegagalan bersyarat struktur sistem dan komponen terhadap gempa. Penelitian Park sesuai dengan mitigasi struktur yang dilakukan pada RSG-GAS.

#### 4.4.3.3 Sistem Deteksi

Sistem deteksi di RSG-GASS setelah bencana nuklir Fukushima mengalami banyak evaluasi. Evaluasi yang dilakukan sesuai dengan ancaman bahaya eksternal termasuk gempa yang berpotensi terjadi di Kawasan. Evaluasi yang dilakukan antara lain dalam revitalisasi sistem alarm kebakaran DPFN-BRIN sebagaimana dalam publikasi Gusman (2020) (Gambar 4.33). Kajian sistem deteksi bisa memberikan informasi secara online dan akurat apabila terdapat kejadian anomali sebelum terjadinya lepasan radioaktif. Hasil lain dari kajian tersebut adalah adanya rencana pengembangan sistem deteksi dini yang terintegrasi dengan sistem deteksi bencana konvensional dan terintegrasi dengan pemerintah dan instansi terkait serta IAEA.



**Gambar 4.46 Publikasi Revitalisasi Sistem Kebakaran di RSG-GAS**

Sumber: DOI: <http://dx.doi.org/10.17146/bprn.2020.17.1.5778>

#### 4.4.3.4 Peraturan Perundang-undangan

Setelah bencana Fukushima, PerBAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya juga mengalami perubahan menyesuaikan referensi yang baru dari IAEA. BAPETEN telah menyusun *Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev.1)* tentang *Safety of NPP: Design*. Dari referensi tersebut BAPETEN merevisi peraturan lama yang semula berlaku hanya untuk reaktor daya (PLTN)

menjadi berlaku untuk semua instalasi nuklir yang tentunya diberlakukan keberperingkatan. Snell et al. (2016) merekomendasikan perlunya penetapan standar keselamatan yang lebih tinggi. Desain bangunan reactor wajib diperbaiki untuk menghindari kecelakaan dasar desain. Selain itu, standar desain bangunan tersebut menjadi strategi untuk mencegah atau mengurangi konsekuensi dari kecelakaan parah, termasuk peningkatan fitur desain atau manajemen kecelakaan. Funabashi (2012) menyampaikan agar pihak-pihak terkait memiliki kesiapan memadai di setiap tingkatan bencana, mulai dari operator PLTN, Pemda sampai dengan pemerintah pusat. Kurangnya kesiapsiagaan dilatar belakangi ketidak jelasan peran institusi swasta dan pemerintah pada saat krisis menjadi penyebab utama lemahnya respons tanggap darurat bencana nuklir di Fukushima. IAEA (2015) melakukan penelitian untuk menganalisis respons tanggap darurat bencana nuklir di Fukushima, Jepang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tindakan mitigasi oleh operator PLTN (TEPCO) untuk mencegah eskalasi kecelakaan tidak dilakukan pada waktu yang tepat. Saat bencana terjadi, manajemen bencana alam dan bencana nuklir dilaksanakan secara terpisah. Tidak ada pengaturan bagaimana koordinasi untuk merespons bencana nuklir dan bencana alam yang terjadi secara bersamaan, sehingga tidak ada program pelatihan dan geladi untuk jenis bencana simultan ini.

Setelah bencana Fukushima, BAPETEN telah mengundang tim IRRS untuk mereview pembaharuan peraturan secara komprehensif dan sistematis serta mengevaluasi persyaratan yang ada di peraturan dengan mempertimbangkan standar keselamatan internasional. Hal tersebut sesuai kesimpulan Shimizu (2012) badan pengawas tenaga nuklir Jepang telah mengembangkan regulasi dengan mengundang tim IRRS ke Jepang. Regulasi yang menekankan pertimbangan bahaya alam eksterm pada desain reaktor.

#### 4.4.3.5 Pelatihan

Setelah bencana Fukushima pelatihan kedaruratan kepada Dokter kesehatan yang ditunjuk sebagai 3 (tiga) RS rujukan di RSG-GAS. Heryanto (2015) dalam penelitiannya merekomendasikan tindakan perlindungan segera untuk mengurangi risiko bahaya bagi masyarakat. Perlindungan tersebut adalah sheltering, evakuasi dan pemberian tablet yodium terhadap populasi masyarakat yang terkena dampak di KNS. Tablet yodium diberikan dalam Gambar 4.7. Faktor penting harus diperhatikan dalam keberhasilan evakuasi masyarakat terdampak, antara lain dinamika penduduk, transportasi, dan permintaan evakuasi.



**Gambar 4.47. Sodium Iodide Capsules**

Sumber: IAEA (2016)

Pelatihan kedaruratan nasional juga telah dilakukan empat tahun sekali, terakhir dilakukan pada tahun 2016 dengan melibatkan banyak instansi terkait. Malesic, et al. (2014) melakukan penelitian untuk mengetahui kesiapan masyarakat dan pihak-pihak terkait pada evakuasi bencana nuklir di PLTN Krsko, Slovenia. Peneliti melihat masih ada celah dari implementasi rencana darurat yang telah dibuat. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa disamping rencana, sosialisasi dan pelatihan, hampir seperempat masyarakat yang tinggal dalam radius tiga kilometer dari PLTN tidak tahu dimana lokasi evakuasi, dan sepertiganya tidak tahu jalur evakuasi. Penelitian juga menunjukkan lemahnya rencana darurat nuklir dan koordinasi, rendahnya kehadiran personil saat pelatihan, dan sangat sedikit perhatian dan sumberdaya untuk manajemen bencana nuklir di

PLTN Krsko. IAEA (2015) melakukan penelitian untuk menganalisis respons tanggap darurat bencana nuklir di Fukushima, Jepang. Berdasarkan penelitian tersebut, tindakan mitigasi oleh operator PLTN TEPCO untuk mencegah eskalasi kecelakaan tidak dilakukan pada waktu yang tepat. Saat bencana terjadi, manajemen bencana alam dan bencana nuklir dilaksanakan secara terpisah. Tidak ada pengaturan bagaimana koordinasi untuk merespons bencana nuklir dan bencana alam yang terjadi secara bersamaan, sehingga tidak ada program pelatihan dan geladi untuk jenis bencana simultan ini.

#### **4.4.3.6 Sosialisasi**

Sosialisasi setelah bencana Fukushima telah sering dilakukan dalam bentuk koordinasi dengan BAPETEN, pihak akademik, dan instansi terkait. Sosialisasi kepada masyarakat dilakukan dengan desiminasi dan diskusi. Adri (2020) menganalisis penanganan bencana Natech di Jepang untuk membangun masyarakat tangguh dan berkelanjutan. Upaya pencegahan bencana Natech diperlukan berupa: 1). Pemahaman komprehensif dimana didalamnya perlu memuat pedoman atau prosedur yang mengatur pekerja atau SDM, masyarakat, alam dan teknologi; 2). Struktural untuk mengatasi risiko bencana; 3). Rencana strategi penanggulangan bahaya teknologi; 4). Menyeleksi jenis peralatan struktural yang paling rentan; 5). Perawatan utk peralatan; 6). Pedoman pencegahan risiko natech yg dibuat pemerintah setempat. Penelitian ini memberikan kesimpulan dibutuhkan pedoman pencegahan untuk perusahaan yang berisiko tinggi sebagai tindakan pengurangan risiko, dan perlunya didirikan research International yang berfungsi khusus untuk meneliti ilmu bencana. Apriliani (2020) dalam penelitiannya merekomendasikan peran BNPB dalam memfasilitasi dan mengkoordinasikan pengkajian risiko ancaman bencana nuklir yang diawali dengan menganalisis risiko berdasarkan ancaman/bahaya, kerentanan, dan kapasitas. Penyebaran informasi dan pengetahuan bahaya nuklir kepada masyarakat perlu ditingkatkan oleh

seluruh stakeholder khususnya Bapeten, BRIN, Pemda dan PI pemanfaatan tenaga nuklir.

#### **4.5 Interpretasi Data**

Interpretasi data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan hasil analisis data dengan berbagai macam kriteria atau standar tertentu untuk mendapatkan makna dari data yang telah dikumpulkan. Interpretasi peneliti berdasarkan: 1). mitigasi struktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS; 2) mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS; dan 3). *lesson learned* Fukushima Daichi terhadap mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana nuklir di KNS.

##### **4.5.1 Mitigasi Struktural**

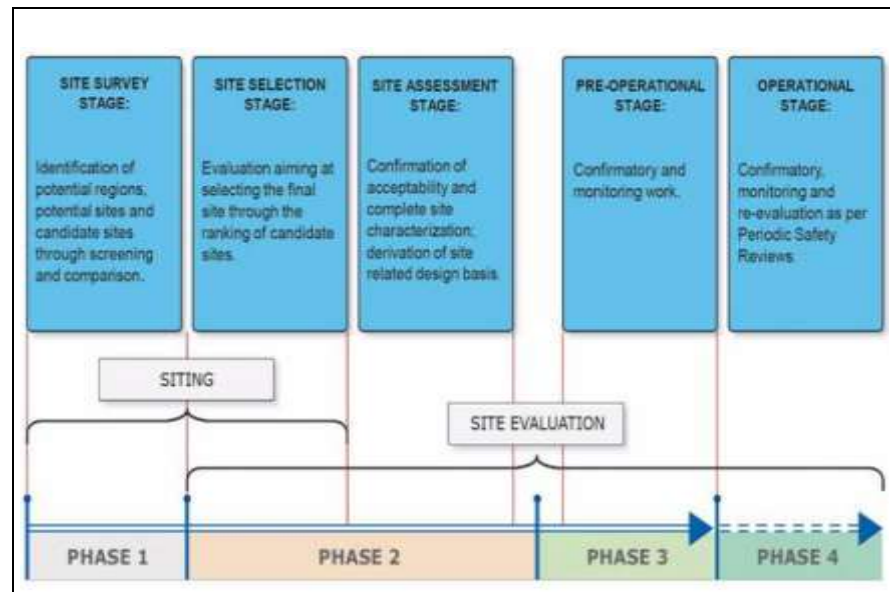
Evaluasi karakteristik tapak mulai dilakukan sebelum ditetapkannya tapak RSG-GAS sampai pada tahap dekomisioning. Saat ini, RSG-GAS dalam tahap operasi, masih melakukan pemutakhiran tapak yang selalu dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk dokumen LAK. Oleh karenanya akurasi evaluasi karakteristik tapak menjadi sangat penting untuk menilai ketahanan RSG-GAS. Akurasi tersebut juga menjadi bahan pertimbangan peningkatan kapasitas RSG-GAS. Upaya mitigasi struktural dan nonstruktural ini dilakukan dalam menghadapi bencana akibat kegagalan teknologi di RSG-GAS dalam KNS. Interpretasi dalam penelitian ini atas mitigasi struktural dan nonstruktural RSG-GAS adalah desain, struktur, sistem deteksi, regulasi, pelatihan, dan sosialisasi yang dikaitkan dengan *lesson learned* dari bencana Fukushima.

##### **4.5.1.1 Desain**

###### **a. Evaluasi Karakteristik Tapak**

Evaluasi karakteristik tapak dimulai pada tahap penentuan tapak hingga dekomisioning. Evaluasi karakteristik tapak

merupakan hal yang sangat penting karena dapat mempengaruhi keselamatan dan keamanan RSG-GAS. Karakteristik tapak mempertimbangkan bahaya internal dan eksternal dilakukan sebelum penentuan tapak dan menjadi dasar desain sebagaimana dalam Gambar 4.48.



**Gambar 4.48 Proses Evaluasi Karakteristik Tapak**

Sumber: Aly (2016)

Gambar 4.48 menjelaskan bahwa sebelum tapak reaktor ditentukan, terlebih dahulu diidentifikasi daerah yang potensial (mempertimbangkan kerentanan fisik, sosial, ekonomi, dan lingkungan). Identifikasi daerah potensial tersebut diikuti identifikasi tapak potensial, calon tapak yang diperoleh dengan membandingkan peringkat berbagai kandidat. Penetapan tapak diperoleh dengan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Tapak yang telah ditentukan mempertimbangan dasar desain sesuai karakteristik tapak. Untuk selanjutnya, evaluasi karakteristik tapak selalu dimutakhirkan selama reaktor beroperasi sampai masa akhir reaktor, guna menjamin keselamatan. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa saat ini RSG-GAS dalam tahap

operasi sudah mempertimbangkan faktor kerentanan termasuk bencana alam ekstrem dan masih melakukan pemutakhiran evaluasi karakteristik tapak sampai masa hidup reaktor.

**b. Desain Mempertimbangkan Karakteristik Tapak**

Hariato et al (2017) mempertegas karakteristik tapak aspek meteorologi digunakan untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan sebagai parameter dasar desain reaktor pada aspek meteorologi di Serpong, untuk keperluan desain dan konstruksi reaktor. Interpretasi atas informasi di atas dapat disampaikan bahwa evaluasi karakteristik tapak terhadap bahaya alam eksternal termasuk gempa bumi, meteorologi, demografi telah dilakukan pada pemilihan calon tapak RSG-GAS. Hasil evaluasi tersebut, menjadi pertimbangan dasar desain RSG-GAS. Namun demikian, RSG-GAS pada tahap operasi masih dapat melakukan perubahan desain sesuai hasil evaluasi pemutakhiran karakteristik tapak.

**c. *Updating Design* Sesuai Pemutakhiran Tapak**

*Updating design* dilakukan sesuai evaluasi pemutakhiran tapak. Dapat disampaikan bahwa RSG-GAS sudah melakukan pemutakhiran tapak yang dilaporkan Kepihak berwenang. Bapeten dan DIIBN-Bapeten melakukan inspeksi ke RSG-GAS diberikan dalam Gambar 4.49. Inspeksi dilakukan untuk mengkonfirmasi apakah yang dilaporkan dapat dipertanggung jawabkan. Dari penilaian inspeksi, RSG-GAS pada tahun 2020 diberikan perpanjangan izin operasi dari BAPETEN untuk 10 (sepuluh) tahun mendatang. Izin perpanjangan tersebut, mengindikasikan bahwa karakteristik tapak yang dilakukan

RSG-GAS masih aman sehingga belum diperlukan *updating design* atau modifikasi desain RSG-GAS.



**Gambar 4.49 Kegiatan Inspeksi Dilakukan Di RSG-GAS**

Sumber: <http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputian>

#### **d. Penilaian Bahaya Alam Konservatif**

Penilaian bahaya alam konservatif sudah dimulai dengan melakukan karakteristik tapak sebelum tapak ditetapkan, mempertimbangkan aspek: 1). Kegempaan; 2). Kegunungpian; 3). Geologi, geoteknik, dan fondasi; 4). Meteorologi; 5). Hidrologi; 6). Kejadian eksternal akibat ulah manusia; 7). Dispersi dan distribusi penduduk.

Pada saat RSG-GAS mengajukan persetujuan desain ke BAPETEN Sebelum pengajuan, RSG-GAS sudah melakukan analisis keselamatan terhadap risiko terparah. Analisis tersebut adalah terhadap kecelakaan melampui dasar desain, dan kecelakaan dasar desain yang di dalamnya sudah menganalisis kegagalan sistem yang disebabkan kejadian alam atau gangguan dari luar. Gangguan dari luar tersebut antara lain: 1). Gempabumi; 2). Banjir; 3). Tornando atau halilintar; 4). Kebakaran atau ledakan; 5). Jatuhnya pesawat terbang; dan 6). Jatuhnya beban *crane* berat ke dalam kolam reaktor. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa RSG-GAS sudah dilakukan penilaian bahaya alam konservatif untuk mengurangi risiko.

Untuk penilaian risiko multi bencana hingga menghasilkan risiko peta terintegrasi sesuai publikasi Azmiyati (2019) dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya.

**e. Desain Terhadap Kecelakaan Parah**

Joon (2014) menyebutkan sebelum bencana Fukushima terjadi sebagian besar PLTN tidak mempertimbangkan penilaian risiko bahaya alam *multi hazard*. Sukarno (2019) menyampaikan sebagian peraturan PLTN tidak mempersiapkan DEC (*design extension condition*) dalam desain reaktornya. Sehingga diinterpretasikan bahwa DEC telah memiliki kondisi BDBA yang sesuai dengan apa yang diskrenariokan oleh Zhang (2013). Skenario yang dimaksud adalah kecelakaan parah (BDBA) dilakukan setelah bencana Fukushima untuk mengetahui ketahanan dari reaktor dan menambah sistem pendukungnya seperti generator diesel seluler. Sebagai reaktor riset bukan PLTN, RSG-GAS tidak melakukan analisis keselamatan terhadap risiko kecelakaan BDBA sebelum Fukushima dirasa wajar karena sebagian besar PLTN tidak mempertimbangkan hal tersebut. Setelah melakukan simulasi kecelakaan, RSG-GAS mengetahui ketahanan RSG-GAS dan telah menambah sistem pendukungnya.

**f. Desain Redundansi**

Untuk mencegah terjadinya kegagalan teknologi nuklir, RSG-GAS didesain dengan fungsi ganda agar memberikan pertahanan yang berbeda. Dari data yang tersedia, RSG-GAS didesain untuk menjamin sistem proteksi reaktor dan memanfaatkan sistem alam yang menjamin terciptanya keselamatan sehingga reaktor nuklir memiliki sistem yang

dapat mentolerir terhadap kekeliruan operator, untuk mendukung hal tersebut RSG-GAS dilengkapi dengan peralatan atau komponen yang dirancang ganda.

**g. Desain Terhadap Sistem Pendingin yang Memadai**

Desain sistem pendingin sangat penting untuk menjamin keselamatan RSG-GAS karena berfungsi sebagai penetralisir panas yang dihasilkan reaktor. Sistem pendingin RSG-GAS didesain untuk mampu menyediakan sirkulasi pendingin. Sistem ini untuk mendinginkan panas- $\gamma$  yang dipancarkan oleh bahan bakar teriradiasi. Kecukupan pendingin diperlukan tidak saja dari aspek ketinggian permukaan air tetapi juga kemampuan terjadinya sirkulasi yang terus menerus. Setelah menganalisis data yang diperoleh, sistem pendingin RSG-GAS sudah didesain untuk mampu bersirkulasi secara alami sesuai publikasi Neo (2019). Sistem pendingin tersebut juga mempunyai kemampuan untuk mengurangi kecelakaan tanpa daya listrik sesuai publikasi Kim (2016).

**4.5.1.2 Struktur**

**a. Penilaian Ulang Kerentanan Struktur**

RSG-GAS telah melakukan penilaian ulang kerentanan kekuatan struktur dibuktikan dari hasil pengujian B2TKS-BPPT. Selain itu, RSG-GAS telah melakukan penilaian kerentanan terhadap gedung reaktor dan struktur internal, gedung dan struktur penunjang. Dapat disimpulkan bahwa RSG-GAS telah melakukan evaluasi kerapuhan untuk memperkirakan kegagalan SSK sesuai publikasi Park (2017).

**a. Cadangan Tambahan Sumber Daya Listrik**

Sistem kelistrikan didesain dengan kriteria cadangan daya. Hal ini sudah sesuai dengan sistem kelistrikan di RSG-GAS. Sistem kelistrikan RSG-GAS tidak hanya mengandalkan sumber listrik dari PLN, namun terdapat sumber lain yaitu diesel generator yang berfungsi sebagai cadangan. Berdasarkan interpretasi peneliti, RSG-GAS sudah mengantisipasi kehilangan sumber daya utama (PLN) dengan menggantikan diesel generator secara otomatis sebagai sumber daya cadangan.

**b. Struktur Pengungkung Handal**

Desain RSG-GAS memenuhi struktur pengungkung kolam serta program jaminan kualitas. Kebolehjadian kebocoran pada struktur pengungkung kolam sangat kecil. Mengingat spesifikasi beton penyusun struktur difabrikasi dengan kualifikasi anti bocor. Ini mengakibatkan tidak perlu tindakan proteksi untuk mencegah kebocoran struktur pengungkung. Hingga dapat disampaikan, keselamatan sistem dan peralatan RSG-GAS berhubungan dengan penjagaan fungsi pengungkung, karena bahan bakar yang potensial mengalami kegagalan maka produk fisinya tidak mencemari kolam reaktor diisolasi dengan pengungkung. Pengungkung dirancang handal untuk mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran bahan bakar akibat proses pembakaran di dalam teras reaktor sesuai dengan publikasi Suwanto (2005). Oleh karena itu, struktur pengungkung RSG-GAS terbuat dari beton. Selain itu, pemantauan integritas pengungkung juga dilakukan (Tecdoc 1170 dan Xu, 2020). Hal tersebut, juga telah dilakukan penilaian risikonya pada RSG-GAS.

**c. Kekuatan Struktur Teras**

RSG-GAS telah memiliki struktur kolam penyimpanan bahan bakar yang baik. Struktur tersebut teriradiasi dirancang tahan gempa yaitu SSE. SSE ini dapat menjamin keselamatan dalam menampung elemen teras reaktor, struktur kolam di perisai dengan beton yang memiliki kerapatan tinggi. Dapat diinterpretasikan, struktur teras mempunyai keberadaan penting sebagai bagian fasilitas eksperimen keselamatan sistem pasif yang dapat bekerja otomatis tanpa memerlukan tindakan langsung dari operator. Sistem teras tersebut termasuk kekuatan struktur teras dilakukan langkah-langkah manajemen teras. System teras ini memastikan keselamatan dengan melakukan perhitungan teras, pengisian ulang bahan bakar nuklir, verifikasi karakteristik teras, pemastian integritas bahan bakar nuklir, dan penyediaan bahan bakar nuklir. Semua komponen di atas telah sesuai dengan PerBapeten Nomor 2 Tahun 2014 tentang Manajemen Teras Serta Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Pada Reaktor Nondaya.

**d. Kekuatan Struktur Terhadap Gempa**

RSG-GAS telah melakukan evaluasi karakteristik tapak sebelum melakukan desain RSG-GAS, dengan kekuatan struktur yang tahan gempa sampai 0,25 g (nol koma dua puluh lima gravitasi). Pada tahap operasi, RSG-GAS telah melakukan perhitungan kekuatan gempa dalam radius 5 km (lima kilo meter). Dapat dikatakan, pemutakhiran evaluasi tapak yang sangat penting telah dilakukan sebagai tindakan mitigasi terhadap struktur bangunan tahan gempa dan bahaya lainnya dapat yang mengancam RSG-GAS termasuk

perhitungan kejatuhan pesawat, sabotase, angin, tornado sesuai publikasi Saptowati (2015).

**e. Kekuatan Struktur Terhadap Kejatuhan Pesawat Terbang**

RSG-GAS telah memperhitungkan risiko jatuhnya pesawat dan perhitungan probabilitas terjadi kejatuhan pesawat dalam publikasi Sugeng (2016). Berdasarkan interpretasi peneliti, perhitungan kejatuhan pesawat yang telah dilakukan RSG-GAS menjadi dasar pertimbangan dalam meningkatkan kapasitas sarana dan prasarana berbasis mitigasi.

#### **4.5.2 Sistem Deteksi**

**a. sistem deteksi kebakaran**

Evaluasi potensi bahaya terhadap kebakaran sudah diidentifikasi RSG-GAS dalam evaluasi karakteristik tapak, antara lain disebabkan oleh potensi bahaya kombinasi di sekitar tapak RSG-GAS.

Tindakan pencegahan kebakaran yang telah dilakukan, antara lain ruang dan sistem reaktor dibuat dalam beberapa kelompok. Setiap kelompok mempunyai ketahanan terhadap kebakaran dengan spesifikasi bahan yang tidak mudah terbakar. Untuk sistem deteksi kebakaran, semua bangunan instalasi nuklir, RSG-GAS dilengkapi dengan alarm deteksi kebakaran dan asap (*smoke detectors*). Sedangkan untuk menghindari meluasnya dampak kebakaran, RSG-GAS dilengkapi *fire dampers* dengan sistem udara segar dan udara buang dan sistem lainnya yang bisa dioperasikan oleh operator. Selain itu, RSG-GAS memiliki strategi/langkah dalam memperkecil potensi bahaya kebakaran, dilengkapi SOP pemadaman kebakaran, dan peralatan pemadam kebakaran yang dimiliki PPIKSN-BRIN. Dari data olahan di atas, dapat disampaikan bahwa sistem deteksi

kebakaran di RSG-GAS sudah lengkap. Namun demikian, sebagai tindakan mitigasi. RSG-GAS tetap melaksanakan analisis untuk deteksi kebakaran, perawatan dan pemantauan secara berkala diberikan dalam Gambar 4.50. RSG-GAS juga dilakukan pemutakhiran apabila ada yang rusak sesuai publikasi Latif (2013).



**Gambar 4.50 Perawatan RSG-GAS**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)

#### **b. Sistem Deteksi Gempa**

RSG-GAS telah memiliki instrumentasi seismik berfungsi merekam sejarah kecepatan dan percepatan gempa bumi. Transduser gempa di RSG-GAS dipasang di titik-titik pondasi gedung reaktor. Berdasarkan interpretasi peneliti, RSG-GAS dapat mendeteksi gempa dan menganalisisnya sebagai pertimbangan dalam analisis keselamatan. Analisis keselamatan tersebut, dengan mempertimbangkan potensi kapabilitas patahan dan laju pergeseran patahan, bahaya gerakan tanah, pengumpulan informasi dan investigasi kegempaan, pembuatan model seismotektonik. Sejarah kegempaan dipantau dalam radius 5 (lima) kilometer bergantung pada kondisi geologi dan tektonik. Evaluasi bahaya gerakan tanah dilakukan untuk periode ulang 500

(lima ratus) tahun dan 10.000 (sepuluh ribu) tahun. Dalam melakukan evaluasi bahaya gerakan tanah memastikan percepatan tanah puncak di tapak dengan periode ulang 10.000 (sepuluh ribu) tahun tidak melampaui 0,6 g pada level fondasi sesuai PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir Untuk Aspek Kegempaan.

**c. Sistem Deteksi Dini Terintegrasi Dengan Sistem Deteksi Dini Bencana Konvensional, dan Terintegrasi dengan Pemerintah**

Sistem deteksi radiasi di dalam dan luar tapak RSG-GAS sudah ada dan selalu dikalibrasi dan dipantau. Dapat dipastikan bahwa sistem deteksi radiasi yang ada sudah efektif untuk dapat mencegah terjadinya lepasan radiasi ke luar RSG-GAS. Di dalam RSG-GAS sudah difasilitasi sistem deteksi radiasi dan apabila terjadi lepasan radiasi keluar RSG-GAS sudah terpantau dari sistem deteksi dini online. Hal ini dapat mengurangi risiko akibat terjadinya lepasan. Dalam rangka meningkatkan sistem proteksi radiasi, sistem deteksi yang terintegrasi dengan sistem deteksi bencana konvensional dapat dipertimbangkan, mengingat kejadian alam sulit diprediksi terjadinya. Sistem deteksi dini terintegrasi dengan Pemda dan pemerintah pusat memudahkan sistem pelaporan karena informasi dapat diterima secara online sehingga Pemda/pusat dapat segera melakukan kebijakan penanggulangan.

**d. Sistem Deteksi Dini Mendeteksi Sistem *Unsuistable***

Sistem deteksi dini telah dapat mendeteksi anomali lebih cepat daripada metode konvensional. Sistem ini diperkirakan

dapat mencegah terjadinya lepasan radioaktif sehingga dapat menjamin keselamatan. Dari informasi di atas, dapat diinterpretasikan bahwa sistem deteksi dini di RSG-GAS telah teridentifikasi untuk mampu memberikan informasi apabila terjadi kejadian yang tidak biasa/tidak normal sebelum terjadinya lepasan radioaktif.

### **4.5.3 Mitigasi Nonstruktural**

#### **4.5.3.1 Peraturan Perundang-undangan**

##### **a. Independensi BAPETEN**

Sebagai badan pengawas, Bapeten harus independen dalam pemberian izin pemanfaatan tenaga nuklir. Independensi ini untuk dapat mengawasi pemanfaatan tenaga nuklir secara profesional. Berdasarkan interpretasi peneliti, Bapeten sudah memiliki independensi Bapeten terpisah dari badan/instansi yang diawasinya. Bila dibandingkan di Jepang sebelum bencana Fukushima Daiich terjadi, badan pengawas tenaga nuklir Jepang (NISA) masih bergabung dengan kementerian yang mempromosikan penggunaan energi nuklir termasuk TEPCO pihak pengoperasi PLTN Fukushima Daiichi. Dengan independensi tersebut Bapeten diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan masyarakat terkait budaya keselamatan dengan menempatkan keselamatan masyarakat menjadi prioritas tertinggi.

##### **b. Review Misi IAEA Terhadap Peraturan Bapeten**

BAPETEN telah mengundang misi IRRS-IAEA diberikan dalam Gambar 4.51. Dalam menyusun dan memperbaharui peraturan, BAPETEN telah melibatkan narasumber ahli dan pemangku kepentingan. Selain itu, penyusunan peraturan telah menggunakan standar Internasional yang relevan serta

mempertimbangkan umpan balik dalam pelaksanaan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir. Hasil penilaian IAEA ini didasarkan atas tinjauan mereka terhadap peraturan yang terkait dengan reaktor daya, reaktor non-daya, INNR, dan fasilitas pengelolaan limbah radioaktif.



**Gambar 4.51 Misi IRRS Review Peraturan BAPETEN**

Sumber: Bapeten.go.id

Dapat diinterpretasikan bahwa Bapeten telah melakukan penilaian dari pihak eksternal untuk meningkatkan kapasitas pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir untuk menjamin keselamatan dan keamanan nasional.

### **c. Peraturan Desain Terhadap Bahaya Eksternal**

Bapeten telah menerbitkan peraturan terkait desain mempertimbangkan kejadian eksternal dalam PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nondaya. Dalam Lampiran I peraturan tersebut mempertimbangkan kejadian eksternal dalam desain reaktor. Kejadian external dimaksud antara lain gempabumi, banjir, topan, badai, angin ribut dan kilat, ledakan, tubrukan pesawat terbang, kebakaran, tumpahnya racun, kecelakaan jalur lalu lintas, dan efek dari fasilitas di dekatnya. Selain itu, Bapeten telah mengeluarkan berbagai

peraturan yang melihat aspek kejadian eksternal tersebut, adalah: 1). PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir; 2). PerBAPETEN Nomor 5 Tahun 2015 Tahun 2015 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungan; 3). PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi; 4). PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan; 5). PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Geoteknik Dan Pondasi Reaktor Daya; 6). PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Dispersi Zat Radioaktif di Udara dan Air; 7). PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia. Berbagai peraturan di atas telah disusun dan diundangkan oleh BAPETEN untuk menjamin keselamatan pemanfaatan nuklir. Berdasarkan interpretasi peneliti, BAPETEN telah berupaya menjamin keselamatan pemanfaatan nuklir dengan memberikan persyaratan yang ketat terhadap pemanfaatan nuklir. Pemenuhan persyaratan telah dituangkan dalam berbagai peraturan yang dapat diterapkan oleh RSG-GAS. Selain itu pelaksanaan peraturan tersebut oleh RSG-GAS dapat dievaluasi dalam bentuk inspeksi yang dilakukan secara berkala/sesuai jadwal dan mendadak/tanpa jadwal. BAPETEN juga dapat mengkaji hal-hal yang diperlukan untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan RSG-GAS. Dari sini dapat disimpulkan bahwa independensi BAPETEN dalam memberikan izin pemanfaatan tenaga nuklir adalah tinggi

**d. Peraturan Kompetensi Petugas RSG-GAS**

Persyaratan kompetensi petugas IBN sudah diatur dalam UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan IBN. Selanjutnya telah terdapat PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 tentang Izin Bekerja Petugas IBN, dan Keputusan Kepala Bapeten Nomor 04-P/Ka-BAPETEN/I-03 tentang Pedoman Pelatihan Operator Dan Supervisor Reaktor Nuklir. Berdasarkan informasi di atas, persyaratan yang ada di peraturan terkait kelayakan petugas dalam pengoperasian RSG-GAS sudah lengkap dan dapat diperbaharui/direvisi sesuai dengan perkembangan dunia nasional dan internasional.

**e. Peraturan Tanggung Jawab Dan Kewenangan Pemengku Kepentingan Pada Penanggulangan Kedaruratan Nuklir**

Pembagian tanggung jawab dan kewenangan instansi di RSG-GAS dalam kedaruratan sudah sesuai seperti yang diamanatkan dalam pedoman OTDN, namun sebagaimana keberlakuan pedoman tidak bisa menjadi kekuatan hukum apabila terjadi pelanggaran. Berdasarkan interpretasi peneliti, untuk menghindari keterlambatan dibutuhkan peraturan yang mengatur tanggung jawab dan kewenangan instansi/lembaga terkait dalam penanggulangan kedaruratan nuklir.

**4.5.3.2 Pelatihan****a. Pelatihan Petugas RSG-GAS**

DPFN-BRIN menetapkan dan memastikan petugas memiliki tingkat kompetensi dan keahlian sesuai kualifikasi. Pelatihan petugas RSG-GAS meliputi kualifikasi personil, re-kualifikasi SIB, Pelatihan secara berkala dilakukan fasilitas, antara lain

pelatihan kompetensi kenukliran, pelatihan kendali dan operasi katup, pelatihan budaya keselamatan, pelatihan SMK3 dan budaya keamanan, pelatihan pengurus dan pengawas inventori bahan nuklir, pelatihan petugas proteksi radiasi dan pekerja radiasi, pelatihan operator dan supervisor reaktor, pelatihan operator dan supervisor perawatan reaktor. Berdasarkan interpretasi peneliti, RSG-GAS telah memberikan pelatihan yang memadai sesuai program yang ditetapkan secara berkala untuk memenuhi persyaratan kualifikasi dalam menjalankan pengoperasian RSG-GAS.

**b. Pelatihan/Drill BDBA Petugas RSG-GAS**

Drill/simulasi BDBA telah dilakukan untuk menilai risiko kecelakaan di RSG-GAS. Berdasarkan interpretasi peneliti, drill/simulasi yang dilakukan Petugas RSG-GAS dapat dievaluasi untuk mengetahui kompetensi yang harus dipertahankan dan ditingkatkan, sehingga dapat menjadi SOP pelatihan selanjutnya.

**c. Pelatihan Kedaruratan Nuklir**

Pelatihan kedaruratan dilakukan RSG-GAS setiap satu tahun sekali di tingkat instalasi, tingkat provinsi dijadwalkan dua tahun sekali, dan tingkat nasional dijadwalkan empat tahun sekali. Pelatihan tersebut memerlukan koordinasi yang kuat khususnya pelatihan tingkat provinsi dan nasional yang menjadi tanggung jawab Pemda dan pemerintah pusat. Berdasarkan interpretasi peneliti, pelatihan kedaruratan telah dilakukan sesuai peraturan perUUan, namun untuk pelatihan kedaruratan provinsi dan nasional baru dilakukan satu kali. Pelatihan ini dilakukan untuk menghindari kegagapan pada

saat kecelakaan terjadi. Pelatihan ini telah dapat mengindikasikan siapa berbuat apa dan bagaimana penanggulangannya yang diatur sesuai dalam program penanggulangan kedaruratan yang menjadi landasan dalam pelatihan kedaruratan. Oleh sebab itu, program penanggulangan kedaruratan tingkat instalasi, tingkat provinsi, dan tingkat nasional disusun, dikoordinasikan, ditetapkan, dan dievaluasi untuk peningkatan penyelenggaraan pelatihan kedaruratan nuklir.

#### **d. Pelatihan Kedaruratan Dokkes RS**

Pemanfaatan tenaga nuklir dalam pengembangan riset dan teknologi, kesehatan, pertanian, dan industri memberikan manfaat dan juga risiko terpaparnya radiasi. Bapeten dan Dokkes RS telah melakukan pelatihan kedaruratan. Berdasarkan interpretasi peneliti, dalam rangka menjamin keselamatan masyarakat terhadap paparan sumber radioaktif dilakukan kesiapan RS dalam penanganan pasien terpapar radiasi mengingat penanganan pasien terpapar radiasi berbeda dengan pasien lainnya. Untuk penanganan pasien terpapar radiasi dibutuhkan fasilitas ruangan khusus dan peralatan penunjang untuk dokter atau petugas perawatan yang menangani.

### **4.5.3.3 Sosialisasi**

#### **a. Sosialisasi Kepada Pemerintah, Pemda, dan Pemangku Kepentingan**

Partisipasi dalam sosialisasi dari beberapa lembaga pendukung *off-site*, termasuk pemadam kebakaran dan kepolisian, RS, medis darurat dan ambulans, pelayanan, serta instansi Pemda cukup tinggi. Sosialisasi tersebut telah

meningkatkan kesadaran peran dan tanggung jawab pemerintah yang bertanggung jawab dalam penanganan kedaruratan nuklir provinsi dan nasional. Berdasarkan interpretasi peneliti, dengan sosialisasi yang telah dilakukan oleh RSG-GAS terhadap semua kepentingan diprediksi telah memudahkan pembentukan program kedaruratan nuklir tingkat provinsi dan nasional guna menjamin keselamatan kepada masyarakat.

#### **b. Sosialisasi Kepada Masyarakat**

RSG-GAS telah berpartisipasi dalam membangun masyarakat tangguh terhadap bencana dengan melibatkan masyarakat dalam kegiatan sosialisasi. Berdasarkan interpretasi peneliti, masyarakat di sekitar RSG-GAS mempunyai peranan penting dalam kemajuan ilmu teknologi nuklir di Indonesia. Dengan sosialisasi tersebut, kepercayaan masyarakat terhadap pemanfaatan nuklir di Indonesia diharapkan telah meningkat. Sosialisasi telah diberikan dalam berbagai bentuk apa saja dan dimana saja, antara lain media cetak elektronik.

### **4.5.4 Lesson Learned**

#### **4.5.4.1 Desain**

Setelah bencana Fukushima, terjadi perubahan analisis keselamatan dengan lebih mempertimbangkan karakteristik tapak terhadap gempa yang merupakan bahaya alam paling rentan di tapak RSG-GAS, walaupun dalam pemutakhiran evaluasi tapak BRIN sudah menganalisis:

*“Gravitasi dalam radius 25 km tidak ada indikasi kesalahan permukaan sesuai dengan hasil survei geologi dan geofisika (GPR, Geolistrik, MT Elektromagnetik, Refraksi Seismik, Refleksi Seismik, dan Magnetik). Dalam radius 5 km tapak RSG-GAS juga tidak*

*terdapat patahan kapabel dan patahan permukaan yang menunjukkan bahwa tapak RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter), dan gempa besar (skala > 6 Richter) di tapak RSG-GAS belum pernah terjadi sesuai pemantauan instrumen gempa milik BRIN yang fokus pada radius 5 km, serta berdasarkan katalog USGS dan BMKG. Didukung percepatan tanah puncak di batuan dasar periode ulang 10.000 tahun adalah 0,57g dan periode ulang 1.000 tahun adalah 0,29g. Hal tersebut, menunjukkan bahwa nilai PGA masih memenuhi ketentuan PerBAPETENNomor 8 tahun 2013”.*

Perubahan analisis keselamatan mengidentifikasi risiko kecelakaan menjadi 2 (dua) yaitu risiko kecelakaan dasar desain dan risiko kecelakaan melampaui dasar desain, yang biasanya dipertimbangkan dalam desain reaktor daya (PLTN) seperti bencana Fukushima. Setelah bencana Fukushima, RSG-GAS mempertimbangkan risiko kecelakaan dengan skenario kecelakaan dasar desain atau DBA sampai kecelakaan yang melampaui dasar desain atau BDBA. Hasil simulasi analisis kecelakaan berdasarkan risiko diperlukan sebagai dasar dalam menyiapkan penanggulangan kecelakaan melalui program kesiapsiagaan nuklir. Ana (2021) mendesak pentingnya memperhatikan desain di atas persyaratan tingkat desain untuk infrastruktur. Dari berbagai informasi yang telah dikumpulkan, RSG-GAS sudah melakukan analisis keselamatan berbasis risiko terhadap desain dengan melakukan simulasi kecelakaan sampai terparah (BDBA) untuk menilai kembali desain RSG-GAS terhadap bahaya alam ekstrem spesifik dan bahaya gabungan di tapak RSG-GAS.

Setelah bencana Fukushima terjadi, *Federal Agency For Nuclear Control* (2020) dan Kimura (2015) menyarankan bahwa semua PLTN perlu melakukan simulasi bencana dalam bentuk *stress test*. Walaupun RSG-GAS adalah reaktor nondaya/riset dan bukan PLTN dengan risiko jauh lebih kecil dari PLTN, RSG-GAS telah melakukan simulasi BDBA seperti PLTN. Ini berarti bahwa RSG-GAS telah memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam mengantisipasi bencana reaktor nuklir bila

dibandingkan sebelum terjadi bencana Fukushima. Selain itu RSG-GAS telah sejalan dengan saran dari *Federal Agency For Nuclear Control* dan para ahli lainnya.

#### **4.5.4.2 Struktur**

Bencana Fukushima telah memberikan pembelajaran yang berarti untuk pengembangan struktur reaktor nuklir. Kurangnya perhatian dalam aspek gempa ekstrem hingga terjadi kegagalan struktur, sistem dan komponen, serta kerusakan inti telah berubah setelah bencana tersebut. Gempabumi yang terjadi di Fukushima tidak pernah dipertimbangkan hingga magnitudo 8. Berdasarkan interpretasi peneliti, RSG-GAS telah melakukan penilaian risiko terhadap gempa dan telah menilai kembali kekuatan struktur terhadap gempabumi dengan pengujian/inspeksi dari lembaga yang berwenang terkait struktur bangunan gedung. Pemastian fitur keselamatan dipengaruhi oleh getaran gerakan tanah yang dihasilkan dari gempabumi perlu (atau telah???) dilakukan secara berkala untuk memastikan konservatif pendekatan desain dan sistem, struktur, komponen terhadap gempa.

#### **4.5.4.3 Sistem Deteksi**

Pembelajaran dari bencana Fukushima telah memperlihatkan potensi kerusakan pada sistem petahanan reaktor dan infrastruktur akibat gempabumi. Dari sini dapat dilihat bahwa sistem informasi terkini diperlukan sebagai tindakan awal manajemen bencana. Hal tersebut, didapatkan dari sistem deteksi radiasi yang terintegrasi dengan sistem deteksi konvensional, informasinya secara online dapat diterima bukan hanya oleh operator namun juga diterima oleh pemerintah. Agar informasi tersebut, menjadi pertimbangan dalam kebijakan penanggulangan kedaruratan nuklir. Untuk lebih menjamin keselamatan masyarakat atas pemanfaatan tenaga nuklir di Serpong, RSG-GAS meningkatkan sistem

deteksi radiasi yang dapat mendeteksi kejadian anomali sebelum terjadi kegagalan sistem.

#### 4.5.4.4 Peraturan Perundang-undangan

Setelah bencana Fukushima, Bapeten Jepang (NISA) telah memisahkan diri dengan kementerian yang berfungsi mempromosikan penggunaan energi nuklir di lingkungan pemerintah termasuk TEPCO. Bapeten Jepang yaitu NISA menjadi NRA bergabung ke Kementerian Lingkungan dan memperkuat persyaratan keselamatan di setiap peraturan yang diundangkan, khususnya bahaya untuk gempabumi dan tsunami. Penguatan peraturan menekankan pada desain, kesiapsiagaan dan tindakan tanggap darurat nuklir fasilitas. Peraturan tersebut diriview oleh tim IRRS dan dihasilkan peningkatan: 1). Regulasi; 2). Inspeksi; 3). Kapasitas; 4). Kemampuan penelitian keselamatan (Shimizu, 2012). Dari sini bisa dibandingkan dengan apa yang terjadi di Indonesia umumnya. BAPETEN telah membuat PerBAPETEN yang mengatur pertimbangan gempabumi dan bahaya lainnya ke dalam desain. Peraturan terkait seismik juga sudah mengatur persyaratan penilaian risiko gempa dengan periode 1000 (seribu) tahun dan 10.000 (sepuluh ribu) tahun. Evaluasi ulang bahaya eksternal tidak hanya didasarkan pada data *history* tetapi juga pada penilaian ahli. Untuk peraturan hasil *lesson learned* dari bencana Fukushima sedang disusun. Sedangkan BAPETEN juga sedang mengembangkan, antara lain: peraturan desain terkait kejadian eksternal ekstrem termasuk bahaya gabungan mengikuti standar IAEA terbaru hasil *lesson learned* Fukushima; peraturan terkait penanganan kecelakaan parah melampaui dasar desain (*Beyond design basis accident-BDBA* atau *Design Extension Conditions-DEC*); peraturan terkait tanggung jawab dan kewenangan instansi terkait dalam kedaruratan nuklir; dan peraturan terkait kompetensi petugas IBN dalam menangani kejadian BDBA/DEC. Artinya, ke depan BAPETEN akan lebih memiliki wewenang yang kuat dan terukur dalam melaksanakan fungsinya.

#### 4.5.4.5 Pelatihan

*Lesson learned* dari bencana Fukushima, kejadian gempa bumi dan tsunami menimbulkan *station blackout* di PLTN Fukushima yang menyebabkan tak terkendali hingga adanya lepasan radioaktif ke lingkungan. Hal tersebut menjadi pertimbangan diperlukan pelatihan bagi petugas reaktor untuk mengantisipasi kondisi kecelakaan parah melampaui dasar desain (BDBA). Kesiapan tim penanggulangan kedaruratan juga menjadi kendala termasuk kesiapan RS dalam menangani pasien akibat terkontaminasi radiasi. Berdasarkan interpretasi peneliti, simulasi kecelakaan parah melampaui dasar desain (BDBA) sudah dilakukan di RSG-GAS sesuai *lesson learned* dari bencana Fukushima. Setiap petugas RSG-GAS pada saat penelitian dilakukan memiliki pengetahuan mengantisipasi kejadian tersebut. Pelatihan tersebut dapat menjadi program pelatihan petugas RSG-GAS ke depannya. Pelatihan kedaruratan nuklir tingkat instalasi, provinsi, dan nasional sesuai dengan PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir sudah dilakukan. Namun untuk menghindari kegagalan, tim kedaruratan dalam penanggulangan kedaruratan belum melakukan koordinasi dan pelatihan secara berkala. Simulasi dengan skenario penanggulangan bahaya gabungan sampai terjadi evakuasi masyarakat (belum dilakukn?. Untuk pelatihan kedaruratan kepada dokter kesehatan di RS yang ditunjuk menangani pasien terpapar juga sudah dilakukan dengan BAPETEN.

#### 4.5.4.6 Sosialisasi

*Lesson learned* dari bencana Fukushima dalam hal sosialisasi adalah instalasi melaporkan kejadian kecelakaan kepada Pemda dan Pemerintah Pusat setelah memastikan kehilangan semua catu daya selama lebih dari 5 (lima) menit atau kehilangan semua kemampuan untuk mendinginkan reaktor. Namun Pemda dan Pemerintah mengalami kendala dalam menilai situasi dan menentukan definisi kejadian. hingga

penetapan status darurat bencana baru dikeluarkan oleh pemerintah pada malam hari kejadian, sehingga tindakan tanggap darurat bencana menjadi terlambat. Berdasarkan interpretasi peneliti, diperlukan kecukupan pengetahuan Pemerintah Pusat dan Daerah terkait penanggulangan kedaruratan nuklir, agar upaya pengurangan risiko bencana dapat maksimal. Pengetahuan dan informasi kepada publik untuk menanggapi kekhawatiran masyarakat terkait nuklir juga dibutuhkan, seperti berbagi informasi tentang bagaimana masyarakat apabila terjadi kedaruratan nuklir baik secara *offline* atau *online* termasuk televisi, radio, internet dan telepon.

#### **4.6 Pembahasan**

Pembahasan dilaksanakan peneliti dengan menganalisis data hasil penelitian dengan menghubungkan berbagai teori/konsep yang digunakan dalam penelitian. UNISDR melalui SFDRR 2015-2030 yang selanjutnya disebutkan Kerangka Sendai menjadi landasan global termasuk Indonesia terkait pengurangan risiko bencana. Kerangka Sendai lebih menekankan pada manajemen risiko dan bukan lagi manajemen bencana. Kerangka Sendai ini bertujuan mencegah munculnya risiko baru, mengurangi risiko yang sudah ada, dan memperkuat ketangguhan tanggung jawab negara. Pemerintah Pusat menjadi otoritas nasional yang mendukung sektor, dan para pemangku kepentingan lainnya dengan pelibatan seluruh elemen yang ada di masyarakat.

Fokus dari pengurangan risiko bencana berkembang bukan hanya pada bahaya bencana yang bersumber dari alam, namun juga bahaya yang berasal dari buatan manusia termasuk lingkungan, teknologi dan biologi. Oleh karena itu, penguatan tata kelola risiko bencana menjadi sangat penting dengan mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengurangi risiko. Tata kelola ini menitik beratkan pada upaya mitigasi yang mendorong kolaborasi dan kemitraan di seluruh mekanisme dan antar lembaga.

UNISDR mendefinisikan mitigasi sebagai upaya untuk mengurangi atau meminimalkan dampak buruk dari ancaman. Mitigasi dapat dilakukan dalam bentuk struktural (fisik) dan nonstruktural (perencanaan penggunaan lahan dan pendidikan seperti kampanye kesadaran masyarakat. Mitigasi ini dilaksanakan untuk meminimalkan dampak merugikan dari kejadian-kejadian bahaya yang potensial dapat terjadi. Mitigasi menjadi kunci dalam penelitian ini karena risiko bencana nuklir setiap saat bisa mengancam.

*Lesson learned* dari bencana Fukushima Daiichi yang tidak pernah dapat diduga (potensi bencana) terjadinya gempa ekstrem diikuti dengan tsunami (bahaya gabungan - *multi hazard*). Upaya proses peningkatan mitigasi dalam penelitian ini menitik beratkan pada ancaman gempabumi tidak diprediksi sebelumnya. Namun upaya-upaya mitigasi yang baik yang diterapkan akan mengurangi dampak dari gempabumi di kemudian hari.

Dalam Rennas Penanggulangan Bencana 2020-2024, fokus prioritas penerapan riset inovasi dan teknologi kebencanaan melalui: 1). integrasi kolaboratif multi pihak; 2). aksi pada pemberdayaan riset dan teknologi terapan dalam pengurangan risiko bencana yaitu adanya riset pengembangan *Risk Culture* melalui peningkatan pengetahuan kebencanaan yang terintegrasi; 3). adanya teknologi terapan untuk pencegahan, mitigasi bencana, dan 4). adanya teknologi terapan untuk memperkuat kapasitas sistem peringatan dini bencana.

Berdasarkan hal tersebut, elemen yang dipandang perlu dibahas adalah: 1). mitigasi struktural untuk menghadapi bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS; 2). mitigasi nonstruktural untuk menghadapi bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS; dan 3) *lessons learned* kejadian bencana PLTN Fukushima Daiichi terhadap upaya mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang berada dalam KNS. Bahasan di atas dilengkapi dengan mengkonfirmasi berbagai teori dan contoh untuk mendukung penelitian ini.

#### 4.6.1 Mitigasi Struktural

Samekto (2019) mengatakan bahwa mitigasi struktural merupakan usaha pengurangan resiko yang dilakukan melalui pembangunan atau perubahan lingkungan fisik. Mitigasi structural ini diterapkan melalui solusi yang dirancang dalam upaya pembangunan fisik. Rancangan pembangunan ini akan mengurangi atau menghindari kemungkinan buruk akibat atau dampak bahaya bencana. Pembangunan fisik ini dapat berupa penerapan teknologi, arsitektur dan sistim bangunan yang kuat agar tahan terhadap bahaya kegagalan teknologi. Pemilihan material bangunan dengan standar mutu dan penggunaan peralatan yang baik dapat menjamin keamanan bagunan. Selain itu desain bagunan harus dilengkapi dengan sistem monitoring dan sistem peringatan. Sistem di atas dapat mengidentifikasi secara dini bahaya kebakaran dan/atau bahaya karena kegagalan teknologi, kerusakan sistem, struktur, dan komponen dan kondisi bahaya lainnya. Sehingga gangguan yang terjadi saat beroperasi dapat terhenti secara otomatis. Berdasarkan hal tersebut, desain, struktur, dan sistem deteksi merupakan mitigasi struktural untuk menghadapi bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS

Pada tahap prabencana, kegiatan mitigasi bencana dalam UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, diawali dengan pengkajian risiko. Pengkajian ini berupa identifikasi risiko dari faktor bahaya dan faktor kerentanan atau kapasitas, penilaian risiko, serta evaluasi risiko. Hasil pengkajian risiko pada suatu wilayah menjadi landasan dalam strategi mitigasi bencana yang tepat dan akurat. Sehingga upaya risiko bencana yang ada dapat dikurangi secara substansial.

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat pengajuan permohonan izin tapak ke Bapeten, evaluasi karakteristik tapak telah dilakukan pada penentuan calon tapak. Evaluasi ini telah mempertimbangkan aspek kegempaan, kegunungapian, geoteknik,

meteorologi dan hidrologi, ulah manusia, dan dispersi zat radioaktif sebagaimana telah diatur dalam PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir. Dalam peraturan tersebut, aspek kegempaan mempertimbangkan karakteristik geologi dan tektonik terhadap kondisi geologi, geofisik, dan geoteknik, serta seismologi, yang dapat diperhitungkan dari radius paling sedikit satu kilometer, di sekitar tapak radius lima kilo meter, di wilayah dekat radius dua puluh lima kilometer, dan wilayah radius paling sedikit 300 (tiga ratus) kilometer. Berdasarkan perBAPETEN tersebut, telah dilakukan evaluasi karakteristik tapak RSG-GAS diberikan dalam Tabel 4.7. Hasil menunjukkan, dalam radius 5 (lima) kilo meter tidak terdapat patahan kapabel dan patahan permukaan yang berpotensi menyebabkan gempabumi. Selain itu, evaluasi karakteristik tersebut juga menunjukkan bahwa Kawasan RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter) hingga pada radius 5 (lima) kilometer. Informasi ini diperoleh dari pemantauan instrumen gempa milik BRIN dan katalog USGS dan BMKG dimana belum pernah ada gempa besar dengan skala lebih dari enam skala richter (skala > 6 Richter).

Berdasarkan Peraturan tersebut, PI tapak RSG-GAS memastikan semua kondisi dan kejadian selama umur operasi reaktor yang dapat diperkirakan telah dipertimbangkan dalam dasar desain. Dengan telah ditetapkannya dasar desain, maka struktur mampu bertahan pada kondisi yang ditimbulkan oleh bahaya internal dan eksternal diberikan dalam Tabel 4.8. Struktur mampu bertahan terhadap bahaya eksternal, antara lain terhadap aspek: 1). gempabumi (termasuk seismik yang mengakibatkan patahan dan longsor); 2). banjir (termasuk luapan akibat kegagalan bendungan, tersumbatnya sungai); 3). topan, dan missil akibat topan; 4). badai, angin ribut dan kilat; 5). ledakan; 6). tubrukan pesawat; 7). kebakaran; 8). tumpahnya racun; 9). kecelakaan jalur lalu-lintas; 10). efek dari fasilitas didekatnya.

Desain dan pembangunan (struktur) RSG-GAS didesain dapat menghindari dan menahan kejadian alam yang mungkin terjadi menimpa RSG-GAS dengan tingkat keandalan dan keselamatan reaktor, termasuk sistem proteksi fisik dan sistem pengamanan yang kuat terhadap bahaya yang berasal dari perbuatan manusia yaitu sabotase, peledakan, dan pencurian. Sistem proteksi fisik dimiliki RSG-GAS dengan metode mendeteksi (*telepon, toa amplifier, handy talky/HT, metal detektor, pemasangan door position sensor, dan pemasangan Video cameras, Video recorder dan video switcher*), menilai, menghalangi (*pemagaran, pintu gerbang keluar/masuk, dan lampu penerangan*), menunda, merespons.

Tindakan sistem proteksi fisik untuk menghalangi, dilakukan dengan cara pintu masuk dijaga oleh sistem keamanan berlapis-lapis, dengan persyaratan yang ketat untuk dapat masuk ke RSG-GAS diberikan dalam Gambar 452. Dimulai dari pintu masuk gerbang sampai pintu masuk reaktor penelitian, dibangun 4 (empat) buah pos pengamanan dan pagar yang mengelilingi reaktor RSG-GAS, dan ditunjang dengan sarana prasarana keamanan, antara lain memasang CCTV, *Seismic Sensor, Door Opening Contactor*, Akses Kontrol, *Metal Detector*, Lampu, Peralatan Komunikasi, untuk melakukan pengawasan disediakan Kendaraan Patroli, Gas Airmata dan Alat Kejut Listrik. Dalam meningkatkan pengetahuan para pegawai tentang pentingnya proteksi fisik, dilaksanakan kegiatan sosialisasi proteksi fisik dan budaya keamanan nuklir, latihan kontinjensi dan evaluasi sistem proteksi fisik reaktor RSG-GAS (Sihombing, 2018).



**Gambar 4.52 Sistem Proteksi Fisik RSG-GAS**

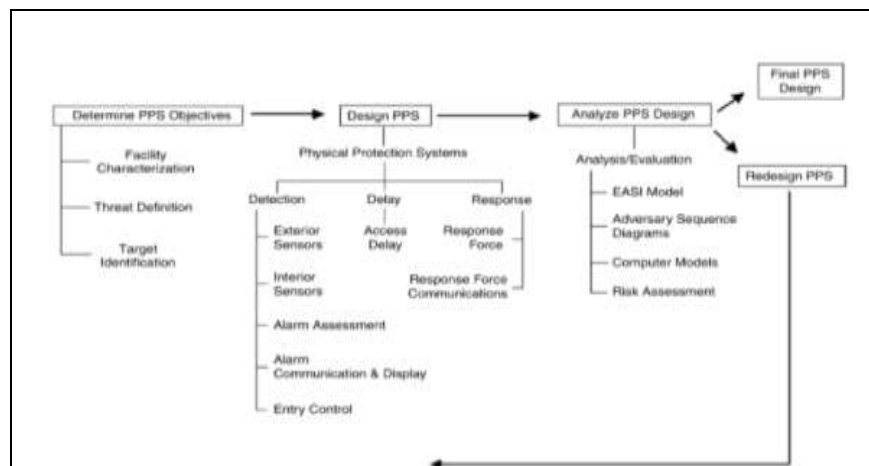
Sumber: BRIN.go.id

Di ruang pengoperasian reaktor, dipastikan tidak ada barang elektronik termasuk telepon seluler dan perhiasan (gelang, cincin, arloji, dan sebagainya) dibawa serta masuk ke reaktor, untuk mencegah dokumentasi menyebar ke tangan yang tidak bertanggung jawab, dan untuk menghindari benda masuk ke dalam kolam reaktor. Sistem proteksi fisik RSG-GAS berbasis mitigasi untuk ancaman sesuai dengan PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik IBN. Peraturan tersebut mengatur persyaratan yang harus dipenuhi PI (BRIN) untuk melakukan tindakan sistem proteksi fisik di instalasinya (RSG-GAS) untuk mencegah pemindahan secara tidak sah terhadap bahan nuklir diberikan dalam Gambar 4.53. menemukan kembali bahan nuklir yang hilang; mencegah sabotase terhadap IBN; dan memitigasi konsekuensi yang ditimbulkan sabotase. Untuk mencegah kegagalan teknologi yang berasal dari bahaya eksternal yang diakibatkan oleh perbuatan manusia, RSG-GAS didesain dengan sistem proteksi fisik yang handal dengan perencanaan yang memadai diberikan dalam Gambar 4.54.



**Gambar 4.53 Sistem Deteksi Proteksi Fisik**

Sumber: dokumentasi BRIN (2020)



**Gambar 4.54 Skema Sistem Proteksi Fisik**

Sumber: <https://studikhusus1.wordpress.com/2020/05/01/keamanan-nuklir-sistem-proteksi-fisik-pada-fasilitas-nuklir>

Desain RSG-GAS pada tahap operasi agar tahan terhadap bahaya eksternal, seperti gempa bumi dilakukan pemutakhiran evaluasi tapak dari aspek kegunaan, bergantung pada karakteristik geologi dan tektonik terhadap kondisi geologi, geofisik, dan geoteknik, serta seismologi, dengan mempertimbangkan karakteristik tapak: radius paling sedikit 1 (satu) kilometer, sekitar tapak radius 5 (lima) kilo meter, wilayah dekat radius 25 (dua puluh lima) kilometer, dan wilayah radius paling sedikit 300 (tiga ratus) kilometer. Hasil pemutakhiran evaluasi karakteristik tapak

RSG-GAS menunjukkan dalam radius 5 (lima) kilo meter tidak terdapat patahan kapabel dan patahan permukaan, tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter), dan pada radius 5 (lima) kilometer berdasarkan pemantauan instrumen gempa milik BRIN dan katalog USGS dan BMKG, belum pernah ada gempa besar dengan skala lebih dari enam skala richter (skala > 6 Richter). Artinya, bahwa struktur RSG-GAS yang dibangun Interatom pada tahun 1980 masih aman dengan ketahanan gempa sebesar 0,25 g (percepatan tanah 2,5 m/s<sup>2</sup>). Mitigasi pada pemutakhiran evaluasi tapak aspek kegempaan sudah sesuai dengan PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir Untuk Aspek Kegempaan. Peraturan tersebut memberi persyaratan evaluasi bahaya gerakan tanah dilakukan untuk periode ulang 500 (lima ratus) tahun, dan 10.000 (sepuluh ribu) tahun dan memastikan percepatan tanah puncak di tapak dengan periode ulang 10.000 (sepuluh ribu) tahun tidak melampaui 0,6 g pada level fondasi. RSG-GAS telah melakukan pemutakhiran karakteristik tapak (penilaian risiko) pada saat operasi dan hasilnya memenuhi persyaratan dalam peraturan tersebut. Yang (2014), penilaian risiko berguna untuk mengidentifikasi kerentanan sistem.

PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir mengatur fungsi penanggulangan kedaruratan nuklir antara lain tindakan mitigasi. Tindakan mitigasi dalam PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir merupakan upaya untuk membatasi mengurangi paparan radiasi jika terjadi peristiwa yang dapat menyebabkan atau meningkatkan paparan radiasi. Upaya tersebut berupa antara lain : 1). mencegah eskalasi bahaya radiologi; 2). mengembalikan fasilitas atau instalasi ke keadaan selamat dan stabil; 3). mengurangi potensi lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi; dan 4). memitigasi dampak lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi. Dari empat kriteria tersebut dapat dilaksanakan dengan teori pertahanan berlapis (*defense in depth*) yang

berlandaskan penilaian risiko dan manajemen risiko, sehingga dapat ditentukan margin keselamatan yang sesuai (IAEA, 1996 dan Fleming, 2002).

IAEA SF-1 (2006) memiliki prinsip 8 untuk menjamin keselamatan reaktor diberlakukan keselamatan yang tinggi berlapis disebut *defense in depth*, untuk mencegah terjadinya lepasan radioaktif, meliputi: 1). tingkat pertama: pencegahan operasi abnormal dan kegagalan; 2). tingkat kedua: pengendalian operasi abnormal dan deteksi kegagalan; 3). tingkat ketiga: pengendalian kecelakaan dalam Kecelakaan Dasar Desain; 4). tingkat keempat: pengendalian kondisi kecelakaan terparah; 5). tingkat kelima: mitigasi konsekuensi radiologis.

Berdasarkan ketentuan tersebut, RSG-GAS didesain dengan pertahanan berlapis sampai lapis ke lima untuk mempertahankan diri dari ancaman bahaya eksternal termasuk ancaman dari alam ataupun ancaman dari perbuatan manusia. Mitigasi struktural pada desain dan struktur di RSG-GAS masuk dalam tingkat pertama sampai ke empat. Artinya, desain RSG-GAS dirancang sedemikian rupa agar sistem, struktur, dan komponen dapat berfungsi mencegah kegagalan hingga kecelakaan terparah melampaui dasar desain hingga terjadi lepasan ke luar KNS. Desain di RSG-GAS memiliki sistem deteksi radiasi dan sistem deteksi gempa serta kebakaran diberikan pada Tabel 4.9, berfungsi sebagai *defence in depth* tingkat 2 (dua).

RSG-GAS telah mempertimbangkan analisis keselamatan terhadap risiko kecelakaan dasar desain yang masuk dalam DID tingkat ketiga. DID tingkat ini sudah mempertimbangkan kebocoran pipa pendingin, kebocoran kolam reaktor, kehilangan catu daya listrik, kesalahan operator, termasuk kejadian alam atau gangguan dari luar RSG-GAS. Untuk mengetahui ketahanan desain RSG-GAS pada tahap operasi setelah bencana Fukushima, telah dilakukan analisis keselamatan terhadap risiko kecelakaan melampaui dasar desain yang akan dibahas pada sub bab 4.6.3.

Kuntoro (2017) menyarankan desain, sistem, struktur, dan komponen termasuk sistem deteksi radiasi berbasis mitigasi struktural harus memenuhi persyaratan keandalan. Persyaratan tersebut meliputi: 1). fitur keselamatan inheren (ISF); 2). penghalang ganda (Multiple Barriers); 3). redundansi dan diversiti; 4). teknik gagal-selamat (fail-safe); dan 5). pengaruh luar.

Pada fitur keselamatan inheren, teras reaktor RSG-GAS tersusun atas bahan yang mempunyai sifat alami yang dapat menstabilkan otomatis (daya reaktor turun kembali). Apabila bahaya datang pada saat operasi, tidak terjadi pemanasan berlebih pada bahan bakar RSG-GAS. Pada penghalang ganda (*Multiple Barriers*), RSG-GAS didesain mempunyai sistem penghalang atau pengungkung radiasi secara berlapis atau ganda berfungsi menahan radiasi yang mungkin keluar pada saat kecelakaan. Pada fungsi redundansi dan diversiti, RSG-GAS didesain menggunakan peralatan dengan fungsi yang sama tidak hanya satu tapi lebih dari satu. Apabila salah satu tidak berfungsi satu yang menjadi backup surveilans, dapat beroperasi secara otomatis. Pada teknik gagal-selamat (*fail-safe*), RSG-GAS didesain secara otomatis padam (*scram*, pancung). Apabila sistem atau komponen keselamatan gagal berfungsi, pancung tersebut dapat mencegah kecelakaan di RSG-GAS. Pada fungsi pengaruh luar, desain reaktor mempertimbangkan bahaya eksternal seperti ancaman alam atau faktor manusia (*human induced*) untuk bahaya gempa.

Untuk lebih memastikan keselamatan masyarakat, RSG-GAS dilengkapi sistem deteksi. Sistem ini untuk mendeteksi dini radiasi, kebakaran, dan gempa, serta sistem pemantauan radiasi ke lingkungan secara berkala yang dilakukan oleh BRIN dan BAPETEN. Pemantauan radiasi dilakukan dengan berpegang teguh terhadap teori proteksi radiasi. Rahman (2020), teori proteksi radiasi meliputi justifikasi, optimasi, dan limitasi dosis individu, serta melakukan segala upaya untuk membatasi paparan radiasi yang tidak disengaja dan tidak bermanfaat bagi manusia dengan memegang teori ALARA.

Proteksi radiasi dalam RSG-GAS dilakukan dengan batasan yang ditetapkan menyesuaikan prinsip proteksi radiasi, bahwa semua kegiatan dilakukan tidak terlepas dari pengawasan BAPETEN. Kegiatan dilakukan dan dianalisis dalam bentuk LAK (LAK) yang di dalamnya memuat proteksi dan keselamatan radiasi untuk disampaikan kepada BAPETEN sebagai persyaratan teknis dalam mendapatkan persetujuan desain, persetujuan perubahan desain, izin konstruksi, izin komisioning, izin operasi, dan perpanjangan izin operasi sesuai dengan PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan IBN. Pada nanti RSG-GAS melakukan dekomisioning (penutupan, tidak digunakan lagi secara total) juga memberikan program proteksi dan keselamatan radiasi ke BAPETEN sebagai persyaratan izin melakukan dekomisioning. Jadi semua tahapan dalam kegiatan RSG-GAS telah melakukan proteksi radiasi dan secara berkala dipantau dengan dilakukan inspeksi oleh BAPETEN, apabila dalam LAK berbeda pada implementasinya, maka BAPETEN melakukan sanksi tegas sesuai tahapan sanksi dalam PP Nomor 2 Tahun 2014.

**Tabel 4.7 Mitigasi Struktural (Desain)**

No.	Uraian	Desain
1	2	3
1.	evaluasi karakteristik tapak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- evaluasi karakteristik tapak mulai dilakukan pada saat pemilihan calon lokasi RSG-GAS (tapak), dilanjutkan pemutakhiran evaluasi tapak pada tahap operasi sampai dekomisioning (penutupan);</li> <li>- dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kejadian alam dan kejadian ulah manusia; karakteristik tapak dan wilayah</li> </ul>

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- sekitarnya yang berpengaruh pada perpindahan zat radioaktif; dan demografi dan karakteristik lain dari tapak dan wilayah sekitarnya</li> </ul>
2.	desain mempertimbangkan karakteristik tapak	desain mempertimbangkan Kegempaan; Kegunungpian; Geologi, geoteknik, dan fondasi; Meteorologi; Hidrologi; Kejadian eksternal akibat ulah manusia; Dispersi dan distribusi penduduk
3.	pemutakhiran analisis tapak	dilakukan pemutakhiran evaluasi karakteristik tapak pada tahap konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning (penutupan) terhadap bahaya eksternal atau kombinasi Kejadian eksternal yang terjadi secara bersamaan ( <i>multi hazard</i> )
4.	<i>Updating design</i> sesuai pemutakhiran tapak	Pada tahun 2014-2016 dilakukan evaluasi karakteristik tapak, menunjukkan peningkatan PGA, hasilnya masih dapat diterima desain dan digunakan dalam dokumen penilaian keselamatan berkala untuk perpanjangan izin operasi selama 10 tahun ke depan
5.	Penilaian bahaya alam konservatif	<p>Dilakukan analisis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gravitasi dalam radius 25 km, tidak ada indikasi kesalahan permukaan (hasil GPR, Geolistrik, MT Elektromagnetik, Refraksi Seismik, Refleksi Seismik, dan Magnetik);</li> <li>- tidak ada patahan kapabel dan patahan permukaan dalam tapak radius 5 km</li> </ul>

1	2	3
		<p>(hasil analisis dan intepretasi data geologi dan geofisika dalam radius 25 km serta data gempa, data deformasi, dan paleoseismologi atau parit uji);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tapak RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter).</li> <li>- di tapak RSG-GAS belum pernah terjadi skala &gt; 6 Richter (hasil instrumen gempa milik BRIN radius 5km dan katalog USGS dan BMKG);</li> <li>- percepatan tanah puncak di batuan dasar periode ulang 10.000 tahun adalah 0,57g dan periode ulang 1.000 tahun adalah 0,29g, menunjukkan nilai PGA masih memenuhi;</li> <li>- analisis probabilistik terjadi kejatuhan pesawat terbang dari bandara terdekat, hasil menunjukkan bahwa potensi jatuhnya pesawat terbang dikategorikan aman.</li> </ul>
6.	Desain terhadap kecelakaan terparah	<p>analisis keselamatan untuk risiko kecelakaan dasar desain yang dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk LAK, berisi kecelakaan akibat kehilangan pendingin, berkurangnya fungsi perpindahan panas, kecelakaan insersi reaktivitas, kesalahan penanganan atau kegagalan peralatan, penglepasan radioaktif dari sub-sistem atau komponen, dan masih banyak lagi.</p>

1	2	3
7.	Desain redundansi	peralatan dengan fungsi yang sama tidak hanya satu tapi lebih dari satu (ganda), dengan sistem sama satu detektor satu <i>line</i> dan ada tampilan di <i>control room</i> operator, apabila salah satu tidak berfungsi satunya lagi bisa <i>surveilans</i>
8.	Desain dilengkapi sistem pendingin yang memadai	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beban mekanik pipa pendingin di dalam kolam reaktor dirancang sekecil mungkin untuk mencegah terjadinya kebocoran;</li> <li>- untuk membatasi atau mencegah kebocoran dari kolam reaktor bahkan pada kondisi-kondisi seismik, secara khusus disekat oleh <i>joint-sheet</i> dan Beton tahan air sesuai dengan DIN 1048;</li> <li>- semua sambungan dan penetrasi di bentuk dari lapisan-lapisan dengan ketebalan maksimum 50 cm yang dipadatkan;</li> <li>- pipa pendingin dirancang untuk mampu menahan gempa;</li> <li>- sistem redundansi dan sistem kelistrikan merupakan aspek yang diperhatikan pada sistem pendingin</li> <li>- dirancang tahan gempa SSE.</li> </ul>

Sumber: diolah peneliti (2021)

Tabel 4.8 Mitigasi Struktural (Struktur)

No.	Variabel	Struktur RSG-GAS
1.	Penilaian ulang kerentanan struktur	Gedung dan Struktur RSG-GAS mampu terhadap ancaman gempa bumi, banjir, topan, badai, angin ribut, dan petir, tubrukan pesawat
2.	Cadangan tambahan sumber daya listrik	sistem kelistrikan di reaktor tidak hanya mengandalkan sumber dari PLN, juga ada sistem backup (redundansi) dipasok oleh rectifier dan baterai berfungsi online contoh: Peralatan dosimeter yang dibawa personil pada saat bekerja dan menimbulkan suara alarm apabila NBD terlampaui dijalankan oleh baterai dan tidak bergantung pada catu daya listrik.
3.	Struktur pengungkung handal	kebolehjadian kebocoran pada struktur pengungkung kolam sangat kecil, karena spesifikasi beton penyusun struktur difabrikasi dengan kualifikasi anti bocor - perisai beton yang memiliki kerapatan tinggi dan berbentuk segi empat dengan dasar rata - Penilaian risiko pemantauan integritas pengungkung
4.	Kekuatan struktur teras	Struktur teras kolam reaktor mempunyai kemampuan ketahanan terhadap kebakaran atau ledakan, kebocoran tangki, kegagalan fungsi fasilitas eksperimen untuk menjamin keselamatan dalam menampung elemen teras reaktor

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- struktur kolam di perisai dengan beton yang memiliki kerapatan tinggi</li> </ul>
5.	Kekuatan struktur terhadap gempa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tahan sampai 0,25 g (percepatan tanah 2,5 m/s<sup>2</sup>) untuk gedung, sistem dan komponen yang mempunyai fungsi keselamatan.</li> <li>- Dimensi komponen struktur sesuai dengan <i>as built drawing</i></li> </ul>
6.	Kekuatan struktur terhadap kejatuhan pesawat terbang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dibangun dengan ketebalan ± 1 meter;</li> <li>- Sugeng (2016) hasil probabilitik RSG-GAS kejatuhan pesawat yang berasal dari Bandara Budiarto 0,0066 x 10<sup>-7</sup> kejadian/tahun dan dari Pondok Cabe 0,0278 x 10<sup>-7</sup> kejadian/tahun.</li> <li>- Nilai probabilitas tersebut masih lebih rendah dibandingkan kriteria dalam laporan IAEA (10<sup>-7</sup> kejadian/tahun)</li> </ul>

Sumber: diolah peneliti (2021)

Tabel 4.9 Mitigasi Struktural (Sistem Deteksi)

No.	Uraian	Sistem Deteksi
1.	Sistem Deteksi Kebakaran	<ul style="list-style-type: none"> <li>- semua lokasi RSG-GAS dipasang sistem monitor atau alarm dan peralatan pemadam yang sesuai dengan bahan yang ada di dalamnya</li> <li>- alat deteksi kebakaran menggunakan smoke detector, untuk mencegah meluasnya kebakaran dengan fire damper sistem udara segar dan udara buang dari bagian yang mengalami kebakaran menutup dengan terputusnya pin penahan fire damper;</li> <li>- pemetaan dan sistem yang dirancang terhadap bahaya internal kebakaran yang sesuai;</li> <li>- proteksi kebakaran sesuai SOP Damkar;</li> <li>- pengelola KNS mempunyai tim Damkar dan perawatan tim medis</li> </ul>
2.	Sistem Deteksi Gempa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- memiliki instrumentasi seismik berfungsi merekam sejarah kecepatan dan percepatan gempa bumi.</li> <li>- Transduser gempa di RSG-GAS dipasang di titik-titik pondasi gedung reaktor</li> </ul>
3.	Sistem deteksi dini terintegrasi dengan sistem deteksi dini bencana	sudah ada di dalam dan di luar gedung RSG-GAS yang bisa dipantau oleh DPFK-BRIN, PPIKSN-BRIN sebagai pengelola kawasan, dan BAPETEN;

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- personil dilengkapi minimal 2 (dua) alat detektor radiasi yang disebut dosimeter yang ditempelkan di saku pakaian sebelum memasuki gedung reaktor. Setelah setiap kali personil memasuki gedung reaktor, Petugas Proteksi Radiasi membaca dosimeter personil dan menuliskan nilai dosis terakumulasi ke indeks kartu untuk dievaluasi setiap bulan;</li> <li>- sistem deteksi yang terpasang pada ruangan dalam reaktor bertujuan memantau paparan dan aktivitas radiasi di tiap ruang dan sistem;</li> </ul>
4.	Sistem Deteksi Dini Mendeteksi Sistem <i>Unsuistable</i>	Mendeteksi <i>Unsuistable</i> masih dengan cara konvensional, namun sudah terdapat kajiannya untuk RSG-GAS.

Sumber: diolah peneliti (2021)

#### 4.6.2 Mitigasi Nonstruktural

Samekto (2019), mitigasi nonstruktural merupakan pengurangan kemungkinan atau konsekuensi risiko dari modifikasi proses perilaku manusia atau alam tanpa membutuhkan penggunaan struktur yang dirancang, upaya pembangunan fisik dengan memanfaatkan pengetahuan, tindakan dan kesepakatan untuk mengurangi risiko dan dampak bencana. Dari pernyataan tersebut, mitigasi nonstruktural difokuskan untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS yang meliputi, peraturan perundang-undangan, pelatihan, dan sosialisasi.

Indonesia yang mengaplikasikan Kerangka Sendai, memiliki instrumen untuk mendukung pelaksanaan kerangka kerja Sendai. Dukungan tersebut dapat dilihat dengan pengembangan hukum dan Peraturan Perundang-undangan di tingkat nasional dalam pengurangan risiko bencana. Peraturan Perundang-undangan tersebut mengatur persyaratan yang ketat terhadap aspek penanggulangan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir. Peraturan Perundang-undangan tersebut menjadi tolak ukur dalam penyediaan strategi pengurangan risiko bencana di tingkat nasional. Terlebih Indonesia yang memiliki potensi bencana alam tinggi, Peraturan Perundang-undangan tersebut menjadi penting (UNISDR).

Peraturan perundang-undangan atau peraturan yang diterbitkan BAPETEN telah mengatur persyaratan yang ketat terhadap aspek penanggulangan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir. Peraturan perundang-undangan tersebut dipandang telah memenuhi persyaratan internasional karena telah mengadopsi ketentuan nuklir yang dikeluarkan IAEA. Terlebih dengan status independensi Bapeten sebagaimana disarankan oleh Shimizu (2012), BAPETEN terpisah dengan kementerian yang menaungi pemanfaatan tenaga nuklir, seperti BRIN memiliki yurisdiksi pada pengelolaan RSG-GAS. Dalam penelitian ini, pelaksanaan penegakan hukum ketenaganukliran telah terbebas dari pengaruh kepentingan guna menjamin prioritas utama terhadap keselamatan masyarakat. Persyaratan ketat terhadap manajemen risiko bencana diatur secara hierarki dari UU, PP, sampai PerBAPETEN baik ditinjau dari aspek bencana alam ataupun bencana yang diakibatkan manusia (*human induced*). Faktor sumber daya termasuk manusia yang paling berperan dalam pengembangan teknologi. Azmy (2015) menegaskan fokus dalam pengawasan ketenaganukliran adalah melalui peraturan perundang-undangan yang diterbitkan BAPETEN. Peraturan perundang-undangan tersebut selalu dipantau dalam program inspeksi yang mampu mencegah risiko yang baru dan mengurangi risiko yang ada. Identifikasi mitigasi

nonstruktural untuk menghadapi kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS diberikan dalam Tabel 4.10.

Fokus mitigasi saat ini bukan hanya menyangkut penanganan bencana, namun lebih merujuk kepada pengertian kesiapan. Pentingnya mitigasi bencana kepada warga masyarakat adalah untuk meningkatkan kapasitas warga dalam mengatasi bencana, tidak hanya selama dan setelah bencana, tetapi juga sebelum bencana (Maryani, 2010). Kesiapan masyarakat sebelum bencana untuk meminimalkan resiko atau kerugian bagi individu, perlu pengetahuan, pemahaman, kesiapsiagaan keterampilan untuk mencegah, mendeteksi dan mengantisipasi secara lebih dini kemungkinan terjadinya bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS. Dengan melibatkan selalu pemerintah, Pemda, pemangku kepentingan, dan masyarakat dalam pelatihan kedaruratan nuklir dan sosialisasi terkait nuklir dapat melakukan perbaikan sesuai tugas dan fungsi sebagai individu, pemerintahan maupun organisasi kemanusiaan untuk upaya penanggulangan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir menjadi lebih baik.

**Tabel 4.10 Mitigasi Nonstruktural (Peraturan)**

No.	Variabel	Peraturan PerUUan
1.	Independensi Bapeten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bapeten dikoordinasikan dengan Kemenristek terkait program kerja kegiatan dan anggaran;</li> <li>- diatur dalam Undang- Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran;</li> <li>- Perpres Nomor 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang</li> <li>-</li> </ul>

1	2	3
		Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian.
2.	Review Misi IAEA Terhadap Peraturan Bapeten	IRRS <i>Mission</i> (IAEA) datang ke Bapeten setelah kejadian Fukushima Daiichi
3.	Peraturan Desain Terhadap Bahaya Eksternal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PerBAPETEN No. 1 Tahun 2011 tentang ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nondaya</li> <li>- Dan peraturan lainnya mengatur kejadian external untuk RSG-GAS:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir</li> <li>2. Peraturan Kepala Badan No 5 Tahun 2015 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungpian</li> <li>3. PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi</li> <li>4. PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan</li> </ol> </li> <li>PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Geoteknik Dan Pondasi Reaktor Daya</li> </ul>

1	2	3
		5. Peraturan Badan No 4 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Dispersi Zat
		6. Radioaktif di Udara dan Air 7. Perka BAPETEN (terkait ketenaganukliran) No 6 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia
4.	Peraturan Kompetensi Petugas RSG-GAS	PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir Dan Bahan Nuklir.
5.	Peraturan tanggung Jawab dan kewenangan pemangku kepentingan pada penanggulangan kedaruratan nuklir	mengatur BNPB menjadi komando untuk kedaruratan nuklir nasional, BPBD menjadi komando untuk kedaruratan nuklir daerah di PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir

Sumber: diolah peneliti (2021)

**Tabel 4.11 Mitigasi Nonstruktural (Pelatihan)**

No.	Variabel	Pelatihan
1.	Pelatihan Petugas RSG-GAS	- pelatihan petugas RSG-GAS dilakukan secara berkala; Reaktor dioperasikan oleh personil yang ahli dan bersertifikat (terkualifikasi) yang terpelihara: operator, supervisor, teknisi

1	2	3
		dan supervisor Perawatan Reaktor RSG-GAS, petugas dan supervisor proteksi radiasi, dan petugas inventori bahan nuklir.
		- secara berkala meningkatkan kompetensi diri, antara lain melalui pelatihan mengenai sistem, struktur, dan komponen reaktor; pelatihan proteksi radiasi; pelatihan kedaruratan/gladi lapang
2.	Pelatihan/Drill BDBA Petugas RSG-GAS	Sebelum kejadian Fukushima, RSG-GAS belum dilakukan simulasi kecelakaan BDBA, karena masih konsep DBA
3.	Pelatihan kedaruratan nuklir	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilakukan secara berkala untuk tingkat instalasi 1 tahun sekali;</li> <li>- Dilakukan tahun 2018 untuk tingkat provinsi</li> <li>- Dilakukan tahun 2016 untuk tingkat nasional</li> <li>- Dilakukan Nubika dengan BRIN dan BAPETEN</li> </ul>
4.	Pelatihan kedaruratan Dokkes RS (RS)	sebelum kejadian Fukushima belum dilakukan

Sumber: diolah peneliti (2021)

**Tabel 4.12 Mitigasi Nonstruktural (Sosialisasi)**

No.	Sosialisasi	Peraturan PerUUan
1.	Sosialisasi kepada Pemerintah, Pemerintah Daerah	rapat koordinasi ataupun <i>tabletop exercise</i> agar pada pelatihan berjalan sesuai dengan skenario yang dikoordinasikan

1	2	3
	dan Pemangku Kepentingan	
2.	Sosialisasi Kepada Masyarakat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sosialisasi menjadi program kegiatan berpuluh-puluh tahun, dalam bentuk sarsehan dan diskusi</li> <li>- Sosialisasi diberikan kepada masyarakat yang dituakan atau pemimpin masyarakat (pak camat, pak lurah, dan lainnya) di sekitar KNS, menginformasikan bahwa KNS terdapat satu instalasi yaitu RSG-GAS yang berpotensi terjadi lepasan radioaktif</li> <li>- sosialisasi dilakukan setiap tahun untuk menerima masukan masyarakat terhadap instalasi nuklir</li> </ul>

Sumber: diolah peneliti (2021)

#### 4.6.3 *Lesson Learned*

Pada penelitian ini, peneliti menemukan pembelajaran dari kegagalan teknologi nuklir di Fukushima Daiichi yang telah mempengaruhi berbagai aspek terkait nuklir di seluruh dunia. Untuk mencegah bencana semacam itu di masa depan, Indonesia harus belajar dari bencana Fukushima Daiichi. Setelah itu, kita juga harus meningkatkan mitigasi bencana akibat kegagalan teknologi nuklir untuk menjamin keselamatan masyarakat, guna mencapai keamanan nasional berdasarkan pelajaran yang dipelajari.

Meningkatkan mitigasi untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS, dengan mengidentifikasi isu penting yang sangat mempengaruhi kecelakaan Fukushima dari segi mitigasi pertahanan berlapis (*defence in depth*) reaktor. Setelah itu, menemukan cara untuk menyelesaikan masalah yang

teridentifikasi dan dianalisis dari sudut pandang mitigasi untuk mengurangi risiko yang ada.

IAEA (2010) untuk menentukan apakah *defence in depth* (DID) telah memadai, dilaksanakan penilaian keselamatan terhadap bahaya internal dan eksternal yang berpotensi memberikan dampak lebih buruk sekaligus, atau menyebabkan kegagalan simultan dari sistem keamanan, dan melaksanakan tindakan khusus yang diperlukan untuk memastikan efektivitas tingkat pertahanan. Penilaian keselamatan berdasarkan risiko menjadi bagian manajemen risiko, dilakukan untuk meningkatkan keselamatan instalasi nuklir. Hasil penilaian risiko dapat meningkatkan kemampuan pencegahan dan mitigasi dalam menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS.

Isu penting yang sangat mempengaruhi kecelakaan Fukushima, disebabkan kejadian alam eksterm dari gempa bumi di Tohoku, diikuti oleh tsunami (bahaya gabungan) yang tidak pernah diperkirakan datangnya. Setelah gempa Tohoku, semua PLTN yang beroperasi di lokasi Fukushima Daiichi berhasil dimatikan. EDG mulai berhasil mengatasi, namun terjadi LOOP yang disebabkan oleh gempa bumi, dan ketinggian tsunami yang disebabkan oleh gempa jauh lebih besar dari desain untuk tsunami yang diasumsikan TEPCO, dan dengan demikian penghalang untuk tsunami tidak efektif. Berdasarkan kejadian tersebut, pentingnya mengevaluasi kemampuan *defence in depth* tingkat pertama, dengan melakukan pemutakhiran evaluasi tapak dari bahaya eksternal (alam), sebagai penilaian bahaya alam konservatif, untuk dipertimbangkan dalam desain RSG-GAS, agar struktur bangunan RSG-GAS tahan terhadap gempa eksterm dan bahaya eksternal lainnya. Upaya tersebut, merupakan upaya mitigasi struktural pada desain dan struktur RSG-GAS yang diberikan pada Tabel 4.13, Tabel 4.14 dan Tabel 4.17.

Gempa besar di Tohoku mengakibatkan terjadi LOOP, sehingga PLTN kehilangan sebagian besar sistem keamanannya, termasuk I&C *systems* yang berlangsung cukup lama, menyebabkan masalah serius

untuk tindakan pencegahan kecelakaan. Yang (2014), sistem I&C dapat bekerja di bawah kondisi kecelakaan parah untuk jangka waktu yang lama. Berdasarkan kejadian tersebut, pentingnya mengevaluasi kemampuan DID tingkat ke dua, dengan melakukan desain redundansi terhadap RSG-GAS, yang dilengkapi sistem pendingin yang memadai, sistem deteksi dini yang memadai, dan yang paling penting RSG-GAS didesain mampu terhadap kecelakaan parah. Upaya tersebut merupakan mitigasi struktural pada desain, struktur, dan sistem deteksi yang diberikan pada Tabel 4.13, Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

**Tabel 4.13 *Lesson Learned* Kejadian Fukushima Daiichi Terhadap Mitigasi Struktural (Desain)**

No.	Uraian	Desain	Desain Hasil Pembelajaran Fukushima
1	2	3	4
1.	evaluasi karakteristik tapak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- evaluasi karakteristik tapak mulai dilakukan pada saat pemilihan calon lokasi RSG-GAS (tapak), dilanjutkan pemutakhiran evaluasi tapak pada tahap operasi sampai dekomisioning (penutupan);</li> <li>- dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kejadian alam dan kejadian ulah manusia; karakteristik tapak dan wilayah sekitarnya yang berpengaruh pada perpindahan zat radioaktif; dan demografi dan karakteristik lain dari tapak dan wilayah sekitarnya</li> </ul>	sama

1	2	3	4
2.	desain mempertimbangkan karakteristik tapak	Desain RSG-GAS mempertimbangkan bahaya eksternal, meliputi kegempaan; kegunungapian; geologi, geoteknik, dan fondasi; meteorologi; hidrologi; kejadian eksternal akibat ulah manusia; dispersi dan distribusi penduduk	sama
3.	pemutakhiran analisis tapak	dilakukan pemutakhiran evaluasi karakteristik tapak pada tahap konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning (penutupan) terhadap bahaya eksternal atau kombinasi Kejadian eksternal yang terjadi secara bersamaan ( <i>multi hazard</i> )	sama
4.	<i>Updating design</i> sesuai pemutakhiran tapak	Pada tahun 2014-2016 dilakukan evaluasi karakteristik tapak, menunjukkan peningkatan PGA, hasilnya masih dapat diterima desain dan digunakan	sama

1	2	3	4
		dalam dokumen penilaian keselamatan berkala untuk perpanjangan izin operasi selama 10 tahun ke depan	
5.	Penilaian bahaya alam konservatif	<p>Dilakukan analisis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gravitasi dalam radius 25 km, tidak ada indikasi kesalahan permukaan (hasil GPR, Geolistrik, MT Elektromagnetik, Refraksi Seismik, Refleksi Seismik, dan Magnetik);</li> <li>- tidak ada patahan kapabel dan patahan permukaan dalam tapak radius 5 km (hasil analisis dan intepretasi data geologi dan geofisika dalam radius 25 km serta data gempa, data deformasi, dan paleoseismologi atau parit uji);</li> <li>- tapak RSG-GAS tidak pernah mengalami deformasi di permukaan</li> </ul>	sama

1	2	3	4
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- dalam periode ulang 500.000 tahun (kuarter).</li> <li>- di tapak RSG-GAS belum pernah terjadi skala &gt; 6 Richter (hasil instrumen gempa milik BRIN radius 5km dan katalog USGS dan BMKG);</li> <li>- percepatan tanah puncak di batuan dasar periode ulang 10.000 tahun adalah 0,57g dan periode ulang 1.000 tahun adalah 0,29g, menunjukkan nilai PGA masih memenuhi.</li> </ul>	
6.	Desain terhadap kecelakaan terparah (BDBA)	analisis keselamatan terhadap risiko kecelakaan dasar desain (DBA).	melakukan analisis keselamatan untuk risiko kecelakaan melampui dasar desain yang dilaporkan ke BAPETEN dalam bentuk LAK, antara lain berisi: Asumsi fungsi sistem proteksi reaktor, Pemilihan kejadian awal, Evaluasi setiap urutan kejadian pada Transien

1	2	3	4
			akibat kehilangan aliran pada sistem pendingin primer, Analisis kecelakaan 5 bahan bakar meleleh, Analisis kehilangan pendingin pada kolam penyimpan bahan bakar reaktor RSG-GAS dengan skenario kecelakaan yang melampaui dasar desain, dan Evaluasi dampak radiologi. Dari analisis tersebut dapat diketahui ketahanan desain RSG-GAS dan menjadi perbaikan.
7.	Desain redundansi	peralatan dengan fungsi yang sama tidak hanya satu tapi lebih dari satu (ganda), dengan sistem sama satu detektor satu <i>line</i> dan ada tampilan di <i>control room</i> operator, apabila salah satu tidak berfungsi satunya lagi bisa <i>surveilans</i>	sama
8.	Desain dilengkapi	- beban mekanik pipa pendingin di dalam kolam reaktor dirancang	pada tahun 2018 telah dilakukan revitalisasi <i>Cooling tower</i> yang baru, memiliki tipe sama

1	2	3	4
	sistem pendingin yang memadai	<p>sekecil mungkin untuk mencegah terjadinya kebocoran;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- untuk membatasi atau mencegah kebocoran dari kolam reaktor bahkan pada kondisi-kondisi seismik, secara khusus disekat oleh <i>joint-sheet</i> dan Beton tahan air sesuai dengan DIN 1048;</li> <li>- semua sambungan dan penetrasi di bentuk dari lapisan-lapisan dengan ketebalan maksimum 50 cm yang dipadatkan;</li> <li>- pipa pendingin dirancang untuk mampu menahan gempa;</li> <li>- sistem redundansi dan sistem kelistrikan merupakan aspek yang diperhatikan pada sistem pendingin</li> </ul>	<p>dengan <i>cooling tower</i> di RSG-GAS sebelumnya, hanya terdapat beberapa perbedaan, antara lain: <i>cooling tower</i> yang baru lebih tinggi, jumlah <i>blade</i> lebih banyak, gearbox dan sistem transmisinya, serta sistem distribusi air.</p>

Sumber: diolah peneliti (2021)

**Tabel 4.14 *Lesson Learned* Kejadian Fukushima Daiichi Terhadap Mitigasi Struktural (Struktur)**

No.	Materi	Struktur RSG-GAS	Struktur RSG-GAS Hasil Pembelajaran Fukushima
1	2	3	4
1.	Penilaian ulang kerentanan struktur	Gedung dan Struktur RSG-GAS mampu terhadap ancaman gempa bumi, banjir, topan, badai, angin ribut, dan petir, tubrukan pesawat	pengujian struktur RSG-GAS bekerjasama dengan tim inspeksi B2TKS BPPT, dengan hasil reaktor RSG-GAS masih aman dan memenuhi syarat kekuatan SNI 2847:2013
2.	Cadangan tambahan sumber daya listrik	sistem kelistrikan di reaktor tidak hanya mengandalkan sumber dari PLN, juga ada sistem backup (redundansi) dipasok oleh rectifier dan baterai berfungsi online  contoh: Peralatan dosimeter yang dibawa personil pada saat bekerja dan menimbulkan suara alarm apabila NBD	Sistem kelistrikan di RSG-GAS terdiri dari catu daya utama, catu daya darurat dan catu daya tak putus atau UPS dengan sumber energi batere. Terjadi kerusakan pada 1 bank batere BTD03 sehingga dilakukan revitalisasi batere BTD03 sejumlah 111 batere, bertujuan mengembalikan unjuk kerja batere sebagai catu daya listrik.

1	2	3	4
		terlampai dijalankan oleh baterai dan tidak bergantung pada catu daya listrik.	
3.	Struktur pengungku handal	kebolehjadian kebocoran pada struktur pengungku kolam sangat kecil, karena spesifikasi beton penyusun struktur difabrikasi dengan kualifikasi anti bocor <ul style="list-style-type: none"> <li>- perisai beton yang memiliki kerapatan tinggi dan berbentuk segi empat dengan dasar rata</li> <li>- Penilaian risiko pemantauan integritas pengungku</li> </ul>	sama
4.	Kekuatan struktur teras	Struktur teras kolam reaktor mempunyai kemampuan ketahanan terhadap kebakaran atau ledakan, kebocoran tangki, kegagalan fungsi fasilitas eksperimen <ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	sama

1	2	3	4
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- dirancang tahan gempa SSE untuk menjamin keselamatan dalam menampung elemen teras reaktor struktur kolam di perisai dengan beton yang memiliki kerapatan tinggi</li> </ul>	
5.	Kekuatan struktur terhadap gempa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tahan sampai 0,25 g (percepatan tanah 2,5 m/s<sup>2</sup>) untuk gedung, sistem dan komponen yang mempunyai fungsi keselamatan.</li> <li>- Dimensi komponen struktur sesuai dengan <i>as built drawing</i></li> </ul>	sama
6.	Kekuatan struktur terhadap kejatuhan pesawat terbang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dibangun dengan ketebalan ± 1 meter;</li> <li>- analisis probabilistik terjadi kejatuhan pesawat terbang dari bandara terdekat, hasil menunjukkan bahwa potensi jatuhnya pesawat</li> </ul>	sama

1	2	3	4
7.		<p>terbang dikategorikan aman</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sugeng (2016) hasil probabilistik RSG-GAS kejatuhan pesawat yang berasal dari Bandara Budiarto <math>0,0066 \times 10^{-7}</math> kejadian/tahun dan dari Pondok Cabe <math>0,0278 \times 10^{-7}</math> kejadian/tahun.</li> <li>- Nilai probabilitas tersebut masih lebih rendah dibandingkan kriteria dalam laporan IAEA (<math>10^{-7}</math> kejadian/tahun)</li> </ul>	

Sumber: diolah peneliti (2021)

**Tabel 4.15 Lesson Learned Kejadian Fukushima Daiichi Terhadap Mitigasi Struktural (Sistem Deteksi)**

No.	Uraian	Sistem Deteksi	Sistem Deteksi Hasil Pembelajaran Fukushima
1	2	3	4
1.	Sistem deteksi kebakaran	<ul style="list-style-type: none"> <li>- semua lokasi RSG-GAS dipasang sistem monitor atau alarm dan peralatan pemadam yang sesuai dengan bahan yang ada di dalamnya</li> <li>- alat deteksi kebakaran menggunakan smoke detector, untuk mencegah meluasnya kebakaran dengan fire damper sistem udara segar dan udara buang dari bagian yang mengalami kebakaran menutup dengan terputusnya pin penahan fire damper;</li> <li>- pemetaan dan sistem yang</li> </ul>	<p>dilakukan revitalisasi agar sistem dapat bekerja secara baik dalam mendeteksi kebakaran.</p> <p>Sistem terdiri atas 4 jenis sensor yaitu sensor aktif berupa sensor asap dan suhu, sensor asap berupa kamera, sensor pasif berupa kotak alarm manual (<i>manual call point</i>), dan sensor jalur alarm (<i>alarm line</i>). Keempat jenis sensor ini dipasang mengelilingi jalur alarm kebakaran seluruh gedung di PRSG dan mengirim sinyal ke panel kendali alarm kebakaran kemudian alarm tersebut ditampilkan pada panel tegak di Ruang Kendali Utama (RKU).</p> <p>Tahun 2013 dilakukan revitalisasi pada sistem</p>

1	2	3	4
		<p>dirancang terhadap bahaya internal kebakaran yang sesuai;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- proteksi kebakaran sesuai SOP Damkar;</li> </ul> <p>pengelola KNS mempunyai tim Damkar dan perawatan tim medis</p>	<p>deteksi kebakaran, dengan penggantian batere sistem BT03 dengan jenis batere generasi sebelumnya yaitu masih jenis VRLA, hanya saja pada bagian rangka batere (rumah akumulator) terdapat tampilan baru yaitu ada tambahan lobang kecil dipojok atasnya yang fungsinya untuk cek densitas batere dan menambahkan air demi sehingga saat perawatan tidak perlu melepas tabung Aqua-Gen.</p>
2.	Sistem deteksi gempa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- memiliki instrumentasi seismik berfungsi merekam sejarah kecepatan dan percepatan gempa bumi.</li> <li>- Transduser gempa di RSG-GAS dipasang di titik-titik pondasi gedung reaktor</li> </ul>	

1	2	3	4
3.	Sistem deteksi dini terintegrasi dengan sistem deteksi dini bencana konvensional, dan terintegrasi dengan Pemerintah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sudah ada di dalam dan di luar gedung RSG-GAS yang bisa dipantau oleh DPFK-BRIN, PPIKSN-BRIN sebagai pengelola kawasan, dan BAPETEN;</li> <li>- personil dilengkapi minimal 2 (dua) alat detektor radiasi yang disebut dosimeter yang ditempelkan di saku pakaian sebelum memasuki gedung reaktor. Setelah setiap kali personil memasuki gedung reaktor, Petugas Proteksi Radiasi membaca dosimeter personil dan menuliskan nilai dosis terakumulasi ke indeks kartu untuk dievaluasi setiap bulan;</li> <li>- sistem deteksi yang terpasang pada ruangan dalam reaktor bertujuan memantau paparan dan aktivitas</li> </ul>	Sudah ada rencana pemetaan dan koordinasi awal ke BMKG.

1	2	3	4
		radiasi di tiap ruang dan sistem.	
4.	Sistem deteksi dini mendeteksi sistem <i>unsuistable</i>	Mendeteksi <i>Unsuistable</i> dengan cara konvensional	DPFK-BRIN pernah mengkaji sistem deteksi radiasi bekerjasama dengan dengan PLTN Belanda terkait <i>Early Anomaly Detection</i> . Sistem kerja alat tersebut secara <i>online</i> menginformasikan operator apabila terjadi kejadian <i>anomaly</i> pada sistem sebelum terjadi kecelakaan. Alat deteksi ini berbeda dengan EWS pada umumnya yang bisa mendeteksi apabila terjadi lepasan radioaktif

Sumber: diolah peneliti (2021)

Evaluasi kemampuan *defence in depth* di tingkat ke tiga yaitu kecelakaan dalam dasar desain dengan menggunakan keselamatan fitur rekayasa dan prosedur kecelakaan. Selama kecelakaan Fukushima Daiichi, operator gagal mengoperasikan sistem keselamatan, seperti *Isolation Condensers* pada unit 1 dan *miss communications* antara operator di ruang kontrol utama, dan manajer di pusat tanggap darurat. Berdasarkan hal tersebut, untuk menghindari kejadian serupa dilakukan mitigasi nonstruktural, antara lain pengembangan kompetensi petugas RSG-GAS yang didapatkan dari pelatihan pada Tabel 4.17, dan dilegalkan dalam SIB yang diatur dalam peraturan perundang-undangan yang diberikan pada Tabel 4.16.

Kecelakaan tersebut, tidak terlepas dari tanggung jawab pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir Jepang yang dilakukan NISA. Setelah kecelakaan terjadi, berubah nama menjadi NRA, karena memisahkan diri dengan kementerian yang berfungsi mempromosikan penggunaan energi nuklir di lingkungan pemerintah, termasuk TEPCO. NRA telah mereformasi peraturan perUUan, untuk lebih memenuhi standar internasional, terutama dalam kaitannya dengan tinjauan keselamatan berkala, pemutakhiran evaluasi bahaya internal dan eksternal, manajemen kecelakaan parah, dan budaya keselamatan. Berdasarkan hal tersebut, untuk mencegah kejadian yang sama seperti Fukushima Daiichi dilakukan identifikasi pada peraturan perundang-undangan yang diberikan pada Tabel 4.16.

Evaluasi kemampuan *defence in depth* di tingkat ke empat yaitu mengendalikan kondisi yang parah, agar zat radioaktif tidak terlepas, walaupun terlepas dikendalikan agar serendah mungkin. Penanganan kecelakaan Fukushima dapat dikatakan lambat karena pemerintah mengeluarkan pernyataan bencana pada malam harinya, dan tindakan injeksi air laut untuk reaktor PLTN tertunda, karena membutuhkan kewenangan dari pemerintah, sehingga terjadi ledakan hidrogen tak terduga di unit 4. Berdasarkan hal tersebut, untuk mengurangi risiko yang

sama seperti kejadian Fukushima dilakukan mitigasi nonstruktural berupa pelatihan kedaruratan nuklir, dan sosialisasi terkait nuklir kepada Pemda dan pemerintah pusat yang diberikan pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18. Adapun tujuan dari diadakannya sosialisasi terkait nuklir kepada pemerintah, bertujuan untuk meningkatkan kapasitas pemerintah dan masyarakat dalam melakukan pengurangan risiko bencana akibat kegagalan teknologi nuklir.

Evaluasi kemampuan *defence in depth* di tingkat ke lima yaitu tindakan penanggulangan kedaruratan nuklir di dalam tapak RSG-GAS maupun di luar tapak RSG-GAS (KNS). Kecelakaan Fukushima Daiichi berkembang menjadi bencana karena tanggapan di luar lokasi darurat (PLTN Fukushima) tidak efektif, karena komunikasi informasi penting yang tidak tepat, kurangnya perintah yang jelas, perubahan respons dari organisasi yang tiba-tiba, dan isu keselamatan jangka panjang yang diakibatkan dari bencana PLTN Fukushima menjadi kekhawatiran bagi masyarakat setempat. Berdasarkan hal tersebut, untuk mengurangi risiko dari kejadian yang sama, dilakukan pelatihan kedaruratan secara berkala untuk tingkat instalasi, provinsi, dan nasional untuk menghindari kegagalan pada saat tanggap darurat bencana yang diberikan pada Tabel 4.17. Sosialisasi kepada pemerintah, Pemda, pemangku kepentingan dan masyarakat agar dapat menghindari terjadinya bencana atau mengatasi dampak apabila telah terjadi suatu bencana yang diakibatkan kegagalan teknologi nuklir diberikan pada Tabel 4.18.

**Tabel 4.16 *Lesson Learned* Kejadian Fukushima Daiichi Terhadap Mitigasi Nonstruktural  
(Peraturan PerUUan)**

No.	Uraian	Peraturan PerUUan	Peraturan Peraturan perundang-undangan Hasil Pembelajaran Fukushima
1	2	3	4
1.	Independensi BAPETEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAPETEN dikoordinasikan dengan Kemenristek terkait program kerja kegiatan dan anggaran;</li> <li>- diatur dalam Undang- Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran;</li> <li>- Perpres Nomor 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kemeterian.</li> </ul>	Setelah Kemenristek bergabung dengan Kemendikbud, BAPETEN dikoordinasikan dengan KLH dan DPFK-BATAN bergabung dengan BRIN (beda kementerian)

1	2	3	4
2.	Review misi IAEA terhadap peraturan Bapeten	belum	<p>Hasil misi IRRS-IAEA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- telah melakukan pengembangan, tinjauan berkala, dan pembaharuan peraturan secara komprehensif dan sistematis;</li> <li>- telah mengevaluasi secara berkala persyaratan yang ada di dalam peraturan dengan mempertimbangkan standar keselamatan dan teknis internasional, pengalaman operasional, perkembangan teknologi, serta aspek sosial dan ekonomi;</li> <li>- telah menyusun dan memperbaharui peraturan melibatkan narasumber ahli dan pemangku kepentingan;</li> <li>- penyusunan peraturan telah menggunakan standar internasional yang relevan</li> <li>- telah mempertimbangkan umpan balik dalam pelaksanaan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir</li> </ul>

1	2	3	4
3.	Peraturan desain terhadap bahaya eksternal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PerBAPETENNo. 1 Tahun 2011 tentang tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nondaya</li> </ul> <p>Dan peraturan lainnya mengatur kejadian external untuk RSG-GAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir</li> <li>- Peraturan Kepala Badan No 5 Tahun 2015 Tahun 2015 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungapian</li> <li>PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dilakukan penyusunan revisi PerBAPETENNomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya sesuai dengan referensi IAEA terbaru berdasarkan kejadian Fukushima Daiichi. Revisi peraturan tersebut akan diberlakukan juga untuk reaktor nondaya (RSG-GAS) jadi tidak hanya berlaku untuk reaktor daya (PLTN);</li> <li>- BAPETEN juga akan merevisi PP Nomor 54 Tahun 2012, untuk mengakomodir kecelakaan parah (BDBA) pada desain reaktor. Pengaturan kategorisasinya kecelakaan parah diatur dalam Peraturan BAPETEN.</li> </ul>

1	2	3	4
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- PerBAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan</li> <li>- PerBAPETEN Nomor 4 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Geoteknik Dan Pondasi Reaktor Daya</li> <li>- Peraturan Badan No 4 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Dispersi Zat Radioaktif di Udara dan Air</li> </ul> <p>Perka BAPETEN (terkait ketenaganukliran) No 6 Tahun 2019 Tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia</p>	

1	2	3	4
4.	Peraturan kompetensi petugas RSG-GAS	PerBAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir Dan Bahan Nuklir.	PerBAPETEN Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Nuklir Dan Bahan Nuklir. mengatur pedoman mengenai persyaratan dan tata cara memperoleh Izin Bekerja bagi Petugas IBN, berdasarkan pada kompetensi diatur dalam Standar kompetensi untuk petugas IBN, diuraikan dalam Lampiran II
5.	Peraturan tanggung jawab dan kewenangan pemangku kepentingan pada penanggulangan kedaruratan nuklir	mengatur BNPB menjadi komando untuk kedaruratan nuklir nasional, BPBD menjadi komando untuk kedaruratan nuklir daerah di PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peran dan tanggung jawab Pemerintah Pusat, Pemda, dan instansi terkait terdapat dalam Pedoman Organisasi Tanggap Darurat Nuklir (OTDN)</li> <li>- Ada rencana dalam revisi PP Nomor 54 Tahun 2012 mengatur Tanggung Jawab Dan Kewenangan Pemerintah Pusat, Pemda, instansi terkait dalam kedaruratan nuklir.</li> </ul>

Sumber: diolah peneliti (2021)

**Tabel 4.17 *Lesson Learned* Kejadian Fukushima Daiichi Terhadap Mitigasi Nonstruktural (Pelatihan)**

No.	Uraian	Pelatihan	Pelatihan Hasil Pembelajaran Fukushima
1	2	3	4
1.	Pelatihan Petugas RSG-GAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pelatihan petugas RSG-GAS dilakukan secara berkala; Reaktor dioperasikan oleh personil yang ahli dan bersertifikat (terkualifikasi) yang terpelihara: operator, supervisor, teknisi dan supervisor Perawatan Reaktor RSG-GAS, petugas dan supervisor proteksi radiasi, dan petugas inventori bahan nuklir</li> <li>- secara berkala meningkatkan kompetensi diri, antara lain melalui</li> </ul>	sama

1	2	3	4
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- pelatihan mengenai sistem, struktur, dan komponen reaktor; pelatihan proteksi radiasi; pelatihan kedaruratan/gladi lapang</li> </ul>	
2.	Pelatihan/Drill BDBA Petugas RSG-GAS	Sebelum kejadian Fukushima, RSG-GAS belum dilakukan simulasi kecelakaan BDBA, karena DBA.	Untuk mengetahui ketahanan RSG-GAS pada BDBA, simulasi dilakukan seolah-olah RSG-GAS diterpa gempa ekstrem seperti Fukushima, melumpuhkan daya listrik dan pendingin reaktor ( <i>station blackout</i> ). Simulasi dilakukan pada LOFA, dan RIA karena penarikan batang kendali untuk mengkonfirmasi bahwa kecelakaan dasar desain yang paling terikat di RSG-GAS dapat dipertahankan aman (khakim, 2017) dan sistem pasif yang berasal dari kondisi alami RSG-GAS masih handal, terbukti hasil perhitungan menunjukkan dosis terbesar

1	2	3	4
			pada radius di bawah 500 meter dengan arah angin ke Selatan, dan dosis radiasi masih di bawah batas dosis sehingga tidak perlu memerlukan tindakan penanggulangan bencana, Udiyani (2021)
3.	Pelatihan Kedaruratan Nuklir	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilakukan secara berkala untuk tingkat instalasi 1 tahun sekali;</li> <li>- Dilakukan tahun 2016 untuk tingkat provinsi</li> <li>- Dilakukan tahun 2018 untuk tingkat nasional</li> <li>- Dilakukan Nubika dengan BRIN dan BAPETEN</li> </ul>	sama
4.	<i>Pelatihan Kedaruratan Dokkes RS</i>	Belum	dengan Dokkes yang ditunjuk berdasarkan keputusan kementerian kesehatan Republik Indonesia

1	2	3	4
			Nomor HK.01.07/MENKES/420/2018 tentang RS Rujukan Bencana Nuklir Nasional, antara lain kepada Dokkes RS Fatmawati, RS Hasan Sadikin, dan RS Sarjito.

Sumber: diolah peneliti (2021)

**Tabel 4.18 Lesson Learned Kejadian Fukushima Daiichi Terhadap Mitigasi Nonstruktural (Sosialisasi)**

No.	Uraian	Sosialisasi	Sosialisasi Hasil Pembelajaran Fukushima
1	2	3	4
1.	Sosialisasi kepada pemerintah, pemerintah daerah dan pemangku kepentingan	rapat koordinasi ataupun <i>tabletop exercise</i> agar pada pelatihan berjalan sesuai dengan skenario yang dikoordinasikan	Sama

1	2	3	4
2.	Sosialisasi kepada masyarakat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sosialisasi menjadi program kegiatan ber puluh-puluh tahun, dalam bentuk sarasehan dan diskusi</li> <li>- Sosialisasi diberikan kepada masyarakat yang dituakan atau pemimpin masyarakat (pak camat, pak lurah, dan lainnya) di sekitar KNS,</li> </ul>	dalam rangka perpanjangan izin operasi RSG-GAS 10 tahun ke depan, DPIBN-BAPETEN melakukan forum diskusi kepada masyarakat secara daring ( <i>zoom online</i> ).
3.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- menginformasikan bahwa KNS terdapat satu instalasi yaitu RSG-GAS yang berpotensi terjadi lepasan radioaktif</li> <li>- sosialisasi dilakukan setiap tahun untuk menerima masukan masyarakat terhadap instalasi nuklir.</li> </ul>	

Sumber: diolah peneliti (2021)

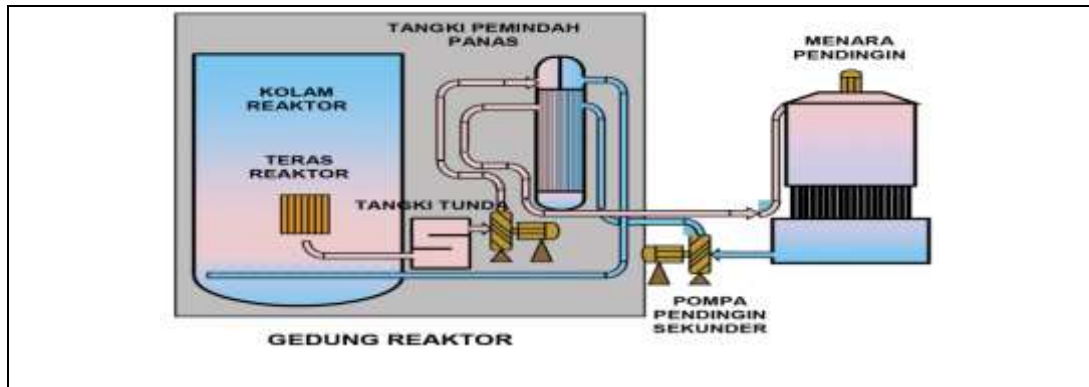
Dari Tabel 4.13 sampai dengan Tabel 4.18 terlihat peningkatan upaya mitigasi hasil pembelajaran bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di Fukushima Daiichi. Pada Tabel 4.13, agar tidak terjadi risiko yang sama seperti yang terjadi di PLTN Fukushima dilakukan upaya mitigasi struktural pada desain dengan melakukan analisis keselamatan risiko kecelakaan melampaui dasar desain. Kecelakaan melampaui dasar desain BDBA atau konsep DEC menurut standar IAEA No. SSR-2/1 (Rev.1) adalah kondisi kecelakaan yang lebih parah dari kecelakaan dasar desain DBA yang harus dipertimbangkan dalam desain reaktor daya sedemikian rupa sehingga konsekuensi radiologi yang ditimbulkan masih dapat diterima.

Setelah pembelajaran dari bencana PLTN Fukushima Daiichi, untuk mengevaluasi kehandalan desain terhadap kecelakaan melampaui dasar desain (kehilangan semua daya listrik atau *station blackout*). RSG-GAS sebagai reaktor riset yang bukan reaktor PLTN, telah melakukan simulasi *station blackout* yang hanya dilakukan oleh PLTN. Hasil dari simulasi tersebut, Khakim (2017) menyatakan aman, dan tidak diperlukan tindakan penanggulangan kedaruratan nuklir/bencana (Udiyani, 2021).

RSG-GAS adalah reaktor nondaya atau riset, menurut fungsinya berbeda dengan PLTN. RSG-GAS digunakan untuk melakukan penelitian dan pengembangan bahan atau material yang akan dipakai dalam reaktor daya suatu PLTN diberikan dalam Gambar 4.55, sedangkan PLTN memanfaatkan energi panasnya untuk menghasilkan daya listrik dan mengungkung radiasinya agar tidak terlepas ke lingkungan diberikan dalam Gambar 4.56.

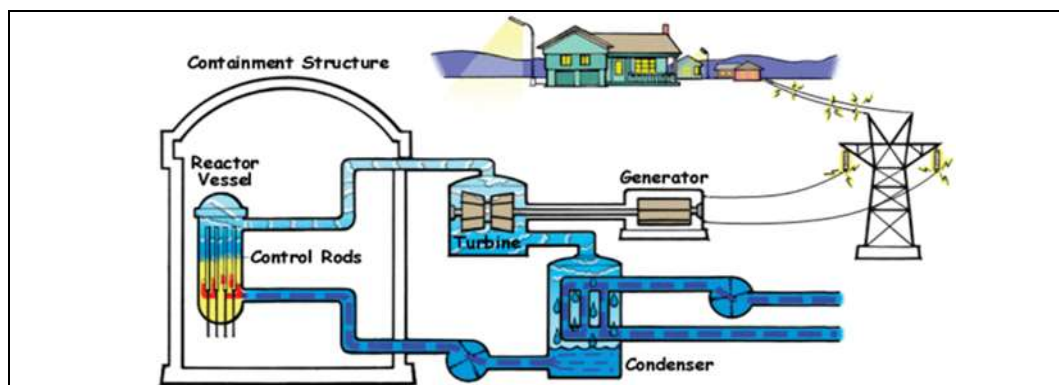
Kuntoro (2017) RSG-GAS merupakan salah satu alat untuk membina SDM dalam penguasaan karakteristik pengoperasian reaktor daya terutama bahan bakar dan bahan struktur. Oleh karena itu, di KNS dibangun pula laboratorium yang berfungsi sebagai penunjang kegiatan RSG-GAS, antara lain PRIEBBE, PRFPBBRR, dan Laboratorium Radio Metalurgi serta pusat riset lainnya yang telah dijelaskan pada sub bab.

4.1.1. Berdasarkan perbedaan fungsi tersebut, maka risiko dari keduanya juga berbeda oleh karena itu peraturan yang berlaku untuk desain RSG-GAS dan desain PLTN juga berbeda atau terpisah. Rangkuman perbedaan RSG-GAS dan PLTN diberikan dalam Tabel 4.19.



**Gambar 4.55 RSG-GAS**

Sumber: dokumentasi DPFK-BRIN



**Gambar 4.56 PLTN**

Sumber: dokumentasi DPFK-BRIN

**TABEL 4.19 Perbedaan RSG-GAS Dengan PLTN**

No.	Reaktor	Istilah	Proses	Kegunaan	Daya	Risiko	Zona Berlindung	Peraturan Desain
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	RSG-GAS	reaktor nondaya	memanfaatkan neutron baru yang dihasilkan dan membuang panasnya	untuk kegiatan pendidikan, pelatihan, penelitian bahan, produksi radioisotop dan uji material,	30 MW termal	potensi bahaya yang menghasilkan lepasan radioaktif dengan dosis di atas nilai yang diizinkan tetapi tidak memberikan efek deterministik parah di luar tapak	0,5–5 km	PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Nondaya

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				dalam rangka membina SDM dalam penguasaan karakteristik pengoperasian reaktor daya terutama bahan bakar dan bahan struktur.				
2.	PLTN	reaktor daya	memanfaatkan energi panasnya dan mengungkung radiasinya	untuk menghasilkan energi	2000 MW sampai 5000 MW Termal	potensi bahaya sangat besar yang dapat menghasilkan lepasan radioaktif	25 km	PerBAPETEN(terkait ketenaganukliran) No 1 Tahun 2020

1	2	3	4	5	6	7	8	9
						yang memberikan efek deterministik parah di luar tapak		Tentang Aspek Radiasi dalam Desain Reaktor Daya

Sumber: diolah peneliti (2021)

Hidayanti (2019) konsep BDBA/DEC lahir dari pembelajaran kecelakaan PLTN Fukushima Daiichi yang diinisiasi oleh peristiwa *station blackout*. Peristiwa SBO tersebut menyebabkan terjadinya *multiple failures* yang berdampak pada pelelehan teras reaktor. Sebelum kecelakaan Fukushima Daiichi, sebagian besar PLTN termasuk PLTN Fukushima Daiichi menggunakan skenario kecelakaan yang dipertimbangkan dalam tahap desain reaktor daya hanya kecelakaan tipe DBA, sedangkan Kecelakaan yang dampaknya melampaui DBA diistilahkan sebagai BDBA belum diperhitungkan dalam desain reaktor PLTN, termasuk dalam peraturan yang sudah ada yaitu PerBAPETEN Nomor 3 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya masih mengatur kecelakaan tipe DBA. Oleh karena itu dalam Tabel 4.16, *lesson learned* terhadap kejadian PLTN Fukushima Daiichi dilakukan revisi PerBAPETEN Nomor 3 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya untuk mengakomodir konsep BDBA dari IAEA *Safety Standards Series* No. SSR-2/1 (Rev.1). Standars IAEA tersebut terbit dari hasil pembelajaran kejadian PLTN Fukushima Daiichi.

Hasil analisis BDBA yang dilakukan di RSG-GAS menjadi evaluasi terhadap peningkatan kapasitas dan penurunan kerawanan pada desain RSG-GAS, termasuk revitalisasi yang dilakukan pada *cooling tower* dalam Tabel 4.13; revitalisasi pada batere BT03 sejumlah 111 batere untuk meningkatkan sistem kelistrikan di RSG-GAS, diberikan pada Tabel 4.14; dan revitalisasi pada sistem deteksi kebakaran yang diberikan dalam Tabel 4.15.

Pembelajaran kejadian Fukushima Daiichi juga berdampak pada pengujian struktur RSG-GAS bekerjasama dengan tim inspeksi B2TKS BPPT. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur bangunan RSG-GAS terhadap bahaya eksternal khususnya gempa diberikan dalam Tabel 4.14.

Dalam rangka meningkatkan kapasitas sistem deteksi, setelah kejadian Fukushima Daiichi dilakukan kerjasama dengan PLTN Belanda

untuk mengkaji sistem deteksi yang dapat menginformasikan secara *online* ke operator, apabila terjadi anomali dalam RSG-GAS sebelum terjadi kecelakaan, sehingga operator dapat segera melakukan upaya pencegahan kecelakaan. Sistem deteksi radiasi yang terintegrasi dengan sistem deteksi dini bencana konvensional, termasuk terintegrasi dengan pemerintah dan Pemda diberikan dalam Tabel 4.15. Sistem deteksi terintegrasi tersebut, sudah dibuat *road map* untuk merealisasikannya diberikan dalam Gambar 4.57.



**Gambar 4.57 Road Map Untuk Sistem Deteksi Radiasi Terintegrasi**

Sumber: Dokumentasi DKKN-BAPETEN

Setelah Fukushima, juga memberi perbaikan tindakan mitigasi pada BAPETEN sebagai Bapeten, yang bertugas menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan terhadap efek radiasi dengan melakukan pengawasan secara independen dan selalu diawasi oleh IAEA, sehingga perbaikan peraturan untuk menjamin keselamatan dilakukan, seperti merevisi peraturan untuk mengakomodir kecelakaan BDBA dan mengatur tanggung jawab dan kewenangan pemerintah dan instansi terkait, dan mengadopsi ketentuan Internasional yang diterbitkan IAEA yang diberikan pada Tabel 4.16. Sebagai tindakan peningkatan upaya mitigasi nonstruktural dilakukan pelatihan kedaruratan nuklir untuk

Dokkes, simulasi terjadinya BDBA, dan pengembangan sosialisasi diberikan pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Hasil penelitian *Lesson Learned* untuk ketangguhan bencana dalam perspektif keamanan nasional, teori keamanan nasional yang digunakan sebagai dasar penelitian ini relevan dan saling mendukung, dimana penyelenggaraan penanggulangan bencana Indonesia diarahkan kepada “Membangun Ketangguhan Bangsa dalam Menghadapi Bencana” sesuai dengan kerangka Sendai, antara lain dengan strategi: 1) Jauhkan bencana dari masyarakat dengan cara mitigasi bencana; 2) Jauhkan masyarakat dari bencana dengan cara evakuasi secara cepat, tepat, terkoordinasi; 3) Hidup berdampingan secara harmonis dengan ancaman bencana, dengan mendorong masyarakat untuk mempunyai kemampuan beradaptasi terhadap ancaman bencana.

Menjaga dan melindungi generasi berikutnya termasuk sumber daya adalah tanggung jawab dan tugas utama pemerintah (BAPETEN, BRIN) bersama pemangku kepentingan penanggulangan bencana (BNPB, BPBD, Pusziad TNI AD) untuk lebih menyebarluaskan, melatih dan merawat mitigasi, sebagai upaya mengantisipasi hingga mengurangi risiko dari dampak bencana, sewaktu-waktu dapat terjadi di kemudian hari.

Kegagalan teknologi nuklir di PLTN Fukushima hingga menjadi bencana merupakan menjadi bencana yang patut menjadi dijadikan pelajaran untuk diambil bagaimana untuk mengutamakan manajemen risiko harus dilakukan dalam mencegah risiko baru. Manajemen risiko ini akan mampu mengurangi risiko yang berpotensi dialami oleh RSG-GAS yang ada dengan mitigasi untuk melalui penguatan desain, struktur, sistem deteksi, Peraturan PerUUan, pelatihan, dan sosialisasi.

Pengurangan risiko bencana tercapai apabila kapasitas ditingkatkan dengan mengurangi kerentanan. Kapasitas yang dimiliki oleh RSG-GAS berupa penguasaan sumberdaya, cara dan kekuatan yang dimiliki masyarakat memungkinkan RSG-GAS mempertahankan dan mempersiapkan diri dari berbagai ancaman eksternal. Upaya ini

dipandang mampu untuk mencegah, menanggulangi, meredam, serta dengan cepat memulihkan diri dari akibat bencana. Sedangkan kerentanan yang dimiliki masyarakat telah ditingkatkan melalui simulasi dan sosialisasi. Sehingga ketidakmampuan masyarakat dalam menghadapi ancaman bencana semakin rendah (BNPB, 2012). Upaya peningkatan kapasitas menurut Maarif (2012, p.16), untuk mengantisipasi, menghindari dan mengadaptasi terhadap potensi ancaman yang akan terjadi.

Berdasarkan hal di atas, beberapa upaya telah dilakukan sebagai peningkatan kapasitas dari *lesson learned* dari bencana PLTN Fukushima. Penilaian risiko terhadap bahaya alam konservatif yang sudah dilakukan RSG-GAS. Penilaian risiko ini dilakukan terhadap bahaya internal dan eksternal, khususnya gempa bumi. Upaya ini berupa peningkatan kapasitas dalam penilaian bahaya alam konservatif dapat dilakukan dengan mengikuti referensi nasional dan internasional. Selanjutnya, sistem deteksi radiasi di RSG-GAS terus ditingkatkan, khususnya sistem deteksi radiasi. Sistem deteksi ini telah terintegrasi dengan sistem deteksi bencana konvensional, dan sistem deteksi dini. Integrasi ini dapat menginformasikan adanya anomali sebelum terjadinya kecelakaan.

Upaya lain adalah terbentuknya berbagai peraturan yang baik dan lengkap. Peraturan ini telah membedakan secara jelas peran dan tanggung jawab Pemerintah, Pemda, dan instansi/lembaga terkait dalam penanggulangan kedaruratan nuklir. Peraturan ini juga telah memasukkan jenis koordinasi untuk merespons kedaruratan nuklir dan bencana alam yang terjadi secara bersamaan perlu ditingkatkan dalam peraturan. Selanjutnya, upaya peningkatan pengetahuan dan keterampilan juga telah dilakukan berupa pelatihan. Secara khusus, pelatihan kedaruratan nuklir dengan skenario evakuasi masyarakat telah dimulai dan perlu ditingkatkan. Selanjutnya program pelatihan ini perlu diikuti dengan pelaksanaan geladi atau simulasi pada setiap ancaman bencana yang ada. Upaya terakhir adalah sosialisasi terkait nuklir telah dilaksanakan dengan baik dan terus ditingkatkan. Secara khusus, sosialisasi

penanggulangan kedaruratan nuklir telah dilaksanakan kepada Pemerintah Pusat, Pemda, instansi/lembaga terkait, dan masyarakat. Sosialisasi ini dipercaya dapat memperkuat ketangguhan tanggung jawab masing-masing pihak sehingga dapat melakukan tindakan pengurangan risiko dengan cepat.

Selain meningkatkan kapasitas, pengurangan kerentanan terhadap dinamika penduduk, infrastruktur jalan raya, dan transportasi terus dilakukan. Upaya itu, sebagai sarana saat pelaksanaan evakuasi di sekitar KNS. Kebijakan pembangunan dan RTRW Kota Tangsel, telah diatur dalam Peraturan Daerah Kota Tangsel Nomor 15 Tahun 2011 tentang RTRW. Dalam rencana tata ruang tersebut, sudah menyebutkan lokasi kawasan radiasi nuklir dan wilayah terdampak sebaran radiasi.