

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bom atom "*Little Boy*" di Hiroshima tanggal 6 Agustus 1945 dan "*Fat Man*" di Nagasaki tanggal 9 Agustus 1945 pada perang dunia kedua, telah mengakibatkan korban jiwa 140.000 (seratus empat puluh ribu) di Hiroshima dan 80.000 (delapan puluh ribu) korban jiwa di Nagasaki (wikipedia.org), serta korban luka dan sakit akibat radiasi (David et al., 2000). Peristiwa tersebut, memberi dampak persepsi masyarakat bahwa nuklir adalah ancaman keamanan internasional. Padahal nuklir juga menjadi kekuatan persenjataan, militer, industri dan teknologi antara blok Sekutu Amerika Serikat dan Uni Soviet sebagai dua negara super power yang bersaing pada perang dingin tahun 1947 sampai 1991 (Bagus, 2016).

Dengan berakhirnya perang dingin, konsep tentang keamanan (*security*) telah banyak mengalami perkembangan menjadi lebih luas bukan semata-mata keamanan militer (*military security*) namun juga mencakup keamanan manusia (*human security*) (Mely & Anthony, 2004). Konsep ini, secara komprehensif mampu menjembatani kepentingan keamanan. Saat ini kepentingan keamanan militer (ancaman militer) dapat dimanifestasikan dengan keamanan ekonomi, pangan, kesehatan, energi, pribadi, politik, komunitas, dan lingkungan (ancaman nonmiliter).

Di Indonesia, konsep tersebut juga digunakan. Dalam Pasal 7 UU Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara mengatur ancaman militer dan ancaman nonmiliter, berkembang pada saat ini dikenal dengan ancaman aktual dan potensial. Ancaman aktual dalam Perpres RI Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020-2024 antara lain terorisme dan radikalisme, ancaman siber, serangan senjata biologis, pencurian kekayaan alam, wabah penyakit, serta bencana alam dan lingkungan. Sedangkan ancaman potensial diartikan

sebagai ancaman yang belum terjadi dan bisa saja dapat terjadi antara lain perang konvensional atau konflik terbuka (invasi asing), krisis ekonomi, dan ancaman senjata nuklir.

Bencana alam merupakan ancaman aktual atau nyata karena dapat membuat masyarakat yang terdampak menimbulkan situasi darurat. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya keselamatan warga negara dan keamanan nasional dalam Kemhan di dalam buku Putih Pertahanan Indonesia (2015, p.23). Bencana dalam Pasal 1 UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menyebutkan bahwa bencana bukan hanya disebabkan dari faktor alam tapi juga dapat disebabkan dari faktor manusia dan nonalam yang disebut dengan bencana nonalam. Bencana nonalam ini, antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.

BNPB (2012), "*Kegagalan teknologi adalah semua kejadian bencana yang diakibatkan oleh kesalahan desain, pengoperasian, kelalaian, dan kesengajaan manusia dalam penggunaan teknologi*" (p.45). Teknologi memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan kualitas hidup suatu bangsa untuk mencapai tujuan negara serta meningkatkan daya saing dan kemandirian bangsa. Terbatasnya sumber daya alam yang tidak diperbaharui, menyadarkan untuk selalu mengikuti kemajuan dan perkembangan iptek dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya dengan pemanfaatan teknologi nuklir (Asmara, 2009).

Kemajuan iptek yang berkembang, menjadi pendorong terciptanya pemanfaatan teknologi nuklir. Dalam era global sekarang ini tepatnya setelah sidang majelis umum PBB menetapkan traktat larangan pengembangan senjata nuklir (*The Non-Proliferation of Nuclear Weapons*) pada tahun 1970. Pada saat itu, pemanfaatan energi nuklir telah tersebar di seluruh dunia digunakan di berbagai bidang kehidupan masyarakat. Pemanfaatan tersebut sebagai salah satu upaya untuk mengisi pembangunan nasional, terwujudnya kesejahteraan dan kemakmuran rakyat, serta tercapainya kemampuan penguasaan teknologi nuklir.

Indonesia merupakan salah satu negara yang meratifikasi *convention on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons* (NPT) berdasarkan UU Nomor 8 Tahun 1978 tentang Pengesahan Perjanjian mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata-Senjata Nuklir. Selain itu, Indonesia juga menjadi negara yang meratifikasi konvensi Kawasan Bebas Senjata Nuklir Di Asia Tenggara dalam UU Nomor 9 Tahun 1997 Pengesahan *Treaty on the Southeast Asia Nuclear Weapon Free Zone*, sehingga Indonesia turut memanfaatkan teknologi nuklir dengan maksud damai tidak untuk senjata nuklir. Hal tersebut, sesuai dengan kebijakan pembangunan Iptek di jangka menengah-panjang dalam amanat UU Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945. Kebijakan pembangunan ini telah tertuang di dalam RIRN Tahun 2017-2045. RIRN ini diarahkan kepada pemajuan Iptek untuk menghasilkan inovasi dan keunggulan kompetitif berbasis Iptek dalam rangka mewujudkan Indonesia yang berdaya saing dan berdaulat demi terciptanya kesejahteraan umum dan mencerdaskan kehidupan bangsa. Oleh sebab itu, pemanfaatan Iptek nuklir sebagai langkah mendasar yang dibutuhkan dalam meningkatkan produktivitas industri nasional di segala bidang, antara lain pada bidang kesehatan, industri, pertanian, dan penelitian.

Pemanfaatan teknologi nuklir di bidang kesehatan pada Gambar 1.1 ditujukan untuk diagnostik dan terapi radiasi (interna dan eksterna). Tujuan tersebut, antara lain digunakan untuk pengobatan kanker, pencitraan (sinar-X dan sebagainya), penelusuran molekul organik, pengujian fungsi organ dan lain-lain. Terapi kanker stadium lanjut, dapat menggunakan Sm-153-EDTMP yang diproduksi BATAN yang saat ini bergabung dengan BRIN sebagai alternatif terapi pereda sakit yang selama ini menggunakan morfin (Menpan, 2020).



Gambar 1.1. Pemanfaatan Teknologi Nuklir di Bidang Kesehatan

Sumber: Batan.go.id

Pemanfaatan teknologi nuklir bidang industri dapat dimanfaatkan dalam banyak hal. Gambar 1.2 menjelaskan teknologi ini dimanfaatkan sebagai alat analisis material (*xrf*, *logging*) dalam Hidayanti (2021), sterilisasi alat kesehatan, uji tak rusak (*radiografi*), pengukuran (*gauging*), pemeriksaan bagasi/kontener (*imaging*) di bandara sebelum naik pesawat terbang. Di samping itu, dapat juga digunakan pada daur ulang limbah plastik seperti dilansir dalam laman menlhk.go.id, dengan tujuan menekan polusi sampah plastik dalam menjaga lingkungan. Selain itu, teknologi nuklir dapat digunakan dalam teknik uji tak rusak, dengan menembakkan betatron, sinar X ataupun gamma pada bebatuan. Penembakan ini, dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur didalamnya tanpa harus dibongkar sehingga keretakan pada struktur suatu bangunan dapat terdeteksi. Lebih lanjut, teknologi nuklir digunakan neutron atau sinar gamma ($Cs-137$) pada *gauging* untuk eksplorasi minyak dan gas dengan menentukan sifat dari bebatuan seperti porositas dan litografi. Teknologi nuklir jenis ini, juga telah digunakan ($Sr-90$) untuk mengukur kepadatan aspal pada konstruksi jalan, dan menentukan kepadatan tembakau pada rokok serta ketebalan pada kertas (Kisnanto & Syaifudin, 2016, p.80).



Gambar 1.2. Pemanfaatan Teknologi Nuklir di Bidang Industri

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2021)

Pemanfaatan teknologi nuklir pada bidang pertanian seperti dilansir dalam laman batan.go.id (2020), digunakan pada pengembangan berbagai varietas unggul dalam Gambar 1.3. Pengembangan varietas padi unggul, tanaman kedelai yang berumur super yang adaptif terhadap lahan marginal, kedelai hitam, varietas tanaman sereal, pakan ternak telah menggunakan teknologi ini. Sementara itu di sektor lainnya, teknologi ini bisa menghasilkan bioetanol, serta tanaman hias yaitu tanaman krisan yang adaptif di dataran rendah dan tahan penyakit karat. Selain itu juga dihasilkan 3 varietas sorgum, 2 varietas kacang hijau, 1 varietas gandum, 1 varietas kapas dan 1 varietas kacang tanah hasil proses mutasi radiasi yang dilakukan BRIN (Setiani & Muharromah, 2020, p.72).



Gambar 1.3. Pemanfaatan Teknologi Nuklir di Bidang Pertanian

Sumber: Diolah Oleh Penulis

Sedangkan pada bidang penelitian pemanfaatan teknologi nuklir untuk mendukung usaha pengembangan industri nuklir, dan persiapan pembangunan sumber daya serta pengoperasian PLTN di Indonesia diberikan dalam Gambar 1.4. Pengembangan industri nuklir antara lain memproduksi radioisotop yang digunakan dalam kegiatan radiodiagnostik di berbagai RS di Indonesia. Selain itu, dapat digunakan untuk menguji struktur logam dengan menggunakan pancaran radiasi neutron sehingga struktur bagian dalam logam dapat terdeteksi (Batan, 2016).



Gambar 1.4. Pemanfaatan Teknologi Nuklir di Bidang Penelitian

Sumber: Diolah Oleh Penulis

Teknologi nuklir mempunyai manfaat begitu besar di berbagai bidang, namun juga mempunyai potensi bencana apabila terjadi kegagalan dalam pemanfaatannya. Kegagalan teknologi ini dapat mengakibatkan kebakaran, kerusakan komponen, dan kebocoran reaktor nuklir hingga terjadi lepasan radioaktif ke lingkungan yang menimbulkan efek deterministik dan stokastik bagi korban (IAEA, 2004).

Bencana akibat kegagalan teknologi nuklir yang pernah terjadi di dunia, antara lain *Three Mile Island* di USA, *Chernobyl* di Ukraina, *Goiania* di Brazil, dan *Fukushima* di Jepang. Bencana *Three Mile Island* terletak di pulau Susquehanna sekitar 14 km (empat belas kilo meter) tenggara dari *Harisburg, Pennsylvania* USA terjadi pada tanggal 28 Maret 1979. Bencana PLTN dalam USNRC (2018), terjadi akibat kegagalan mekanis atau listrik mencegah pompa air umpan utama mengirim air ke generator uap. Air ini

yang mestinya berfungsi menghilangkan panas dari teras reaktor menyebabkan turbin generator pembangkit dan reaktor mati secara otomatis. Padahal, tekanan dalam sistem primer mulai meningkat. Untuk mengontrol tekanan itu, katup pelepas yang dioperasikan dibuka. Setelah itu, katup seharusnya tertutup ketika tekanan turun ke tingkat yang tepat, tetapi menjadi macet terbuka. Sedangkan, instrumen di ruang kontrol menunjukkan kepada operator bahwa katup telah tertutup. Akibatnya, operator tidak menyadari bahwa air pendingin dalam bentuk uap mengalir keluar dari katup yang terbuka. Saat alarm berbunyi dan lampu peringatan menyala, operator tidak menyadari bahwa PLTN mengalami kecelakaan kehilangan pendingin. Hal ini menyebabkan teras menjadi terlalu panas, akibatnya terjadi kerusakan serius pada reaktor dan pelepasan radioaktif ke lingkungan, karena inti reaktor terbuka sebagian selama 16 jam menurut penelitian Bettist, Peterson.

Bencana kegagalan teknologi tersebut akibat dari kesalahan personel, menurut Wellock & Thomas (2008), disebabkan oleh NRC tidak melakukan komunikasi efektif dengan prasarannya. Di pihak lain, jalur otoritas tidak diputuskan dengan baik, akibat kekurangan desain dan kegagalan komponen. Sebagai dampaknya sekitar 2 (dua) juta orang di sekitar TMI selama kecelakaan terpapar dosis radiasi rata-rata sekitar 1 millirem. Paparan ini terbilang kecil, karena paparan dari rontgen dada adalah sekitar 6 millirem. Dalam penelitian Miller (1994) menunjukkan bahwa bencana TMI, tidak menyebabkan cedera, kematian, atau efek kesehatan bagi pekerja reaktor ataupun masyarakat. Namun dalam penelitian West et al. (1995) bencana TMI telah menimbulkan ketakutan dan ketidakpercayaan publik menjadi meningkat, sehingga bencana akibat kegagalan teknologi nuklir ini menduduki peringkat ke lima dalam INES (INES, 2013, p.4).

Bencana PLTN Chernobyl di Ukraina Pada tanggal 26 April 1986, merupakan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir peringkat tertinggi yaitu 7 (tujuh) di INES (2013, p.4). Dampak yang terjadi sangat luas pada

masyarakat dan lingkungan. UNSCEAR's *assessments of the radiation effects* (2021), menemukan bahwa, operator melanggar peraturan keselamatan dengan mematikan sistem kontrol penting. Operator juga membiarkan reaktor mencapai daya rendah yang tidak stabil, lonjakan listrik yang tiba-tiba dilakukan operator sehingga memecahkan bejana reaktor. Bencana Chernobyl ini merupakan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir yang satu-satunya mengalami kehancuran reaktor dan api grafit yang intens. Api ini menyala dalam 10 hari sehingga inti grafitnya meleleh total dalam teras reaktor tenaga nuklir.

Gas dan partikel radioaktif yang lepas ke lingkungan terbawa oleh angin ke arah barat dan utara. Gas dan partikel ini terdeposisi di tanah terbawa hujan yang turun saat itu. Akibatnya kehidupan jutaan orang yang tinggal dalam radius 30 km dari PLTN harus dievakuasi karena radioaktif yang menyebar ke lingkungan diserap oleh air dan tanah, sehingga masyarakat tidak dapat mengonsumsi air, hasil perkebunan, dan ternak sampai lokasi didekontaminasi dan terjadi peluruhan paparan radiasi. Evakuasi terjadi di tahun yang sama sekitar 115.000 orang dan setelah tahun 1986 sekitar 220.000 orang dari Belarus, Federasi Rusia dan Ukraina. Korban jiwa akibat kegagalan teknologi nuklir tersebut diperkirakan 4.000 (empat ribu) orang, antara lain 50 (lima puluh) pekerja tanggap darurat yang meninggal karena sindrom radiasi akut, 9 (sembilan) anak yang meninggal karena kanker tiroid. Lebih lanjut, perkiraan sebanyak 3.940 (tiga ribu sembilan ratus empat puluh) korban jiwa akibat kanker dan leukemia akibat radiasi yang ditimbulkan dari tahun 1986-1987 terhadap 200.000 (dua ratus ribu) pekerja darurat, 116.000 (seratus enam belas ribu) pengungsi dan 270.000 (dua ratus tujuh puluh ribu) penduduk (IAEA: 2005).

Menurut Greenpeace International (1992), akibat yang ditimbulkan dari bencana Chernobyl juga dialami ke seluruh kawasan bekas Uni Soviet, Eropa Timur, Skandinavia, dan Eropa Barat yang disebabkan lepasnya unsur radioaktif ke atmosfer, akibatnya rencana pembangunan

reaktor nuklir banyak dibatalkan di Republik Czezh, Hongaria, Polandia, dan Rusia.

Bencana Radiologi juga pernah terjadi di Goiania, Brazil pada tahun 1987. Dalam laporan IAEA (1988, p.23), terdapat kelalaian tanggung jawab PI yaitu lembaga radioterapi dengan kemitraan medis. PI meninggalkan mesin teleterapi lengkap dengan sumber Cs-137, aktivitas pada saat kejadian 50,9 TBq atau 1.375 Ci di klinik yang lama. Kemudian pada tanggal 10 September 1987 pemulung datang ke lokasi tersebut, dan membongkar mesin teleterapi dengan alat sederhana dan berhasil mengambil *Casing stainless steel* yang di dalamnya adalah Cs-137.

Casing stainless steel tersebut dibawa pemulung ke rumahnya dan dibongkar. Akibatnya dari aktivitas tersebut pada 13 September 1987, pemulung mendapatkan gejala deterministik seperti muntah, diare, pusing, dan satu tangan bengkak. Pada 18 September 1987, potongan hasil bongkar kapsul sumber berwarna biru dan serbuk Cs-137 yang dikira bedak dijual. Pembeli beserta isteri, dan teman-temannya pada 21 September 1987 mengalami muntah dan diare akibat bersentuhan langsung tanpa pelindung dengan Cs-137 tersebut. Dari survei radiasi terhadap 112.800 orang penduduk menunjukkan 271 orang terkontaminasi internal, 120 orang terkontaminasi pakaian dan sepatu, 151 orang terkontaminasi internal dan eksternal. Selain itu 28 orang mengalami luka bakar radiasi, 20 orang dirawat di RS, 14 orang mengalami kerusakan sumsum tulang, 8 orang mengalami gejala radiasi akut dan 4 orang meninggal dunia. Bencana ini menyebabkan dekontaminasi pemukiman dan fasilitas umum dengan volume limbah berbahaya yang dihasilkan sebanyak 5.000 m³ atau sekitar 370 truk kontainer, sehingga bencana ini masuk dalam peringkat ke 5 dalam INES (INES, 2013, p.4).

Bencana PLTN Fukushima Daiichi terjadi pada tanggal 11 Maret 2011 telah menambah daftar kegagalan teknologi nuklir dan merupakan bencana nuklir terburuk setelah Chernobyl menurut IAEA (2017). Dalam

INES, bencana PLTN Fukushima Daiichi ini masuk dalam peringkat ke 7 (tujuh) atau *Major Accident*. Besarnya lepasan bahan radioaktif ke atmosfer sekitar 10% dari kecelakaan Chernobyl, menimbulkan efek kesehatan dan lingkungan yang meluas. Walaupun pada bencana ini tidak terdapat korban jiwa, namun akibat radioaktif yang terlepas dari reaktor PLTN membuat pekerja yang menerima dosis efektif 100 mSv atau lebih. Selain itu, telah terjadi "peningkatan" risiko kanker di masa depan terutama kanker tiroid pada anak-anak akibat lepasan radioiodine yang signifikan.

Laporan IAEA dalam the Fukushima Daiichi *Accident: Technical Volume 1 Description and Context of the Accident* (2015), mencatat bencana Fukushima Daiichi diawali dengan adanya gempa bumi dan tsunami. Sebanyak 6 (enam) Unit PLTN terdampak gempabumi besar dengan kekuatan 9,0 SR, pusat gempa berada di Prefektur Fukushima yaitu 68 km dari PLTN Daiichi. Gempa tersebut menyebabkan kerusakan pada saluran listrik di sekitar lokasi PLTN, sedangkan peringatan tsunami tidak diterima. Gelombang tsunami terjadi dan mencapai ketinggian lebih dari 10 (sepuluh) meter menyebabkan kerusakan besar pada infrastruktur operasional dan keselamatan di lokasi. Bangunan dan infrastruktur rusak terutama di sepanjang pantai timur laut Jepang. Kenyataan lain bahwa desain bangunan tidak memperhatikan keselamatan terhadap ancaman bencana ekstrim dari alam menurut IAEA (2012). Gabungan dari akibat bencana alam tersebut dalam IAEA (2015) menyebabkan hilangnya daya listrik *off site* dan *on site* yang mengakibatkan hilangnya pendinginan fungsi di 3 (tiga) unit reaktor yang beroperasi dan di kolam bahan bakar bekas, sedangkan 4 (empat) unit reaktor lainnya sepanjang pantai dengan derajat mengalami keparahan yang berbeda-beda.

Hilangnya fungsi pendingin reaktor mengakibatkan inti reaktor di unit 1 sampai dengan 3 terlalu panas, bahan bakar nuklir meleleh dan tiga bejana penahan tidak bisa lagi menahan. Hidrogen menjadi terlepas dari bejana penahan reaktor yang menyebabkan ledakan di dalam bangunan

reaktor Unit 1, 3, dan 4. Ledakan ini merusak bahan bakar, struktur dan peralatan, serta melukai pekerja. Lepasannya radionuklida ke atmosfer mengendap di darat dan lautan karena lokasi PLTN berada di sepanjang pantai timur laut Jepang. Selanjutnya endapan ini, mengkontaminasi tanah, air, sayuran, daging, susu, dan ikan laut sehingga tidak bisa dikonsumsi penduduk mengakibatkan penduduk harus dievakuasi (IAEA, 2015).

Pemerintah Jepang menurut IAEA (2017), melakukan evakuasi terhadap 100.000 orang yang bermukim di radius 20 km dari lokasi PLTN meliputi desa Kutsurao, kota Namie, desa Iitate, sebagian dari kota Kawamata dan sebagian dari Kota Minami Souma. Radius tersebut dinyatakan aman bagi penduduk karena hanya terpapar 20mSv selama satu tahun ke depan. Sedangkan, masyarakat yang berada dalam radius 20-30 km dari PLTN diinstruksikan berlindung di rumah dan tidak boleh keluar sampai adanya informasi evakuasi atau secara sukarela dievakuasi. Dampak evakuasi telah menimbulkan gangguan psikologis seperti peningkatan kecemasan dan gangguan stres pasca trauma, serta dampak sosial pada masyarakat sekitar. Ketakutan akan stigma negatif terkait risiko paparan radiasi pengion yang berasal dari sumber berita tidak resmi. Di pihak lain, pernyataan Pemerintah terkait darurat nuklir nasional berikut tindakan perlindungan masyarakat yang terlambat. Pemerintah mengeluarkan pernyataan pada malam harinya. Rencana atau strategi peran dan tanggung jawab organisasi pengoperasi dengan otoritas lokal atau nasional dalam sistem manajemen tanggap darurat nuklir belum jelas atau belum ada (IAEA, 2015, p.2).

Dari berbagai bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di seluruh dunia, bencana Fukushima Daiichi menjadi perhatian yang besar. Di era globalisasi yang serba modern saat ini, ditambah dengan kemajuan iptek yang dimiliki Jepang, bencana tersebut satu level dengan bencana Chernobyl dalam skala INES. Bencana ini juga memberikan pelajaran bagi banyak negara termasuk Indonesia. Jepang dengan tingkat

pendidikan bencana dan sistem peringatan dini yang tinggi, masih mengalami kegagalan tanggap darurat nuklir. Memang perlu digarisbawahi bahwa kegagalan teknologi ini akibat langsung bencana alam yaitu gempa bumi dan tsunami besar yang terjadi sebelumnya.

Indonesia dan Jepang secara geografis relatif sama dan memiliki ancaman bencana yang besar karena berada di area cincin api Pasific (*ring of fire*) yang menyebabkan gempa bumi sering terjadi, Arnold (1986). Kesamaan lainnya adalah kedua negara merupakan kepulauan yang rentan terjadinya tsunami karena terdapat titik gempa di lepas pantai, terutama wilayah Serpong lokasi RSG-GAS yang tercatat dalam buku Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821-2018 (2019) sebagaimana diberikan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Sejarah Gempabumi di Indonesia

Tanggal	Wilayah	OT (Origin Time UTC)	Koordinat		Depth (km)	Mag	Wilayah Yang Merasakan	Korban/ Kerusakan	Sumber
			Lat	Long					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 September 2009	Jawa Barat	7:55:00	-8.24	107.32	30	7.3	- Tasikmalaya: VII - Cianjur dan Sukabumi: VI; - Bandung, Bekasi, Bogor, dan Purwakarta: V - Cibinong, Ciputat, Cirebon, Depok, Jakarta, Pekalongan, Serpong, Tangerang, Yogya: IV	Di Jawa Barat: - Korban meninggal: sedikitnya 81 orang - Korban luka-luka: lebih dari 1.297	BMKG & USGS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
							<ul style="list-style-type: none"> - Karangates, Klaten, Semarang, Sleman, Tretes, dan Wonosari: III - Denpasar: VI - Kuta: II - Ubud, Sumbawa, Jambi, Metro 	<ul style="list-style-type: none"> - Kehilangan tempat tinggal: 25.000 orang Di Cikangreng (akibat tanah longsor): <ul style="list-style-type: none"> - Korban meninggal: sedikitnya 30 orang - Korban hilang: 27 orang 	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
								Tsunami lokal tercatat di: - Pameungpek: 1 meter - Pelabuhanratu: 20 cm	
8 Agustus 2007	Jawa Barat	17:04:58	-6.13	107.68	284	6.9	- serpong: V - bandung, bekasi, bogor, cicurug, depok, jakarta, sleman, tangerang, yogyakarta: IV - citeko, kebumen, malang, dan pacitan: III		

1	2	3	4	5	6	7	- 8	9	10
							- blitar, banjar, banjaran, bantu, ciawi, cibadak, cilacap, cilegon, cimanggis, ciputat, ciebon, dayeukolot, garut, karangasem, karawang, kediri, kuningan, lembang, pelabuhanratu, pondok aren, pondok gede, purwokerto, salatiga, semaang, sewon, sukabumi, teluknaga, tulungagung, tretes, baki, madiun, dan weleri: II		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
							<ul style="list-style-type: none"> - kuta: IV - denpasar dan ubud: III - klungkung, bali: II - liwa dan padang, bandar lampung: III, Malaysia: III 		

Sumber: diolah peneliti (2021)

Dalam Tabel 1.1 terlihat bahwa pada 2 September 2009 gempa dengan magnitudo 7.3 dapat dirasakan di Serpong dengan kategori IV. Gempa tersebut terjadi pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang. Gerabah pecah, jendela/pintu berderik dan dinding berbunyi. Sedangkan pada 8 Agustus 2007 getaran 6.9 Serpong dalam tingkat V yaitu getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, orang banyak terbangun, gerabah pecah, barang-barang terpelanting, tiang-tiang dan barang besar tampak bergoyang, bandul lonceng dapat berhenti. Kerentanan tersebut, dapat mengancam kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia, khususnya RSG-GAS.

Menurut BRIN, reaktor penelitian di Indonesia pertama dibangun di Bandung dengan daya 250kW (dua ratus lima puluh kilo watt) pada 16 Oktober 1964 yang diberi nama TRIGA Mark II (Triga Mark Dua). Reaktor ini, pada 24 Juni 2000 hingga saat ini telah dicapai daya 2 MW (dua mega watt) dan berubah nama menjadi Reaktor TRIGA 2000 (Reaktor Triga Dua Ribu) Bandung. Reaktor ini berfungsi antara lain memproduksi isotop untuk bidang kedokteran nuklir. Reaktor ke dua dibangun di Yogyakarta dengan nama reaktor Kartini yang didesain sebagai reaktor tipe kolam 250 kW (dua ratus lima puluh kilo watt) dengan daya operasi 100 kW (seratus kilo watt) pada tanggal 25 Januari 1979. Reaktor kedua ini, berfungsi antara lain untuk sarana penelitian, irradiasi, pendidikan dan latihan kader-kader dalam bidang reaktor. Sedangkan reaktor terakhir dibangun di Serpong Kota Tangsel adalah RSG -GAS, dengan daya 30 MW (tiga puluh mega watt) pada Maret 1992. Reaktor ini berfungsi antara lain memproduksi isotop untuk bidang industri hingga kesehatan, tes maupun uji material, dan percobaan ilmu pengetahuan.

RSG-GAS berada di bawah naungan BRIN tepatnya di DPFK dibangun di kawasan Puspiptek Kecamatan Serpong, Kota Tangsel. RSG-GAS terletak dalam area KNS, menjadi reaktor riset yang berfungsi memproduksi radioisotop yang menunjang kegiatan radiodiagnostik di berbagai RS di Indonesia, Malaysia, Singapura, Vietnam, dan Jepang.

BRIN (2016), dalam rangka penguatan kapasitas dan kapabilitas SDM di bidang nuklir, RSG-GAS dilengkapi dengan laboratorium (instalasi) penunjang yang berada di KNS. Instalasi ini, antara lain: (1). IEBE, (2). IPEBRR, (3). IRM, (4). IPR, (5). IPLR, dan (6). ISN.

RSG-GAS dipilih sebagai subyek penelitian, karena reaktor ini mempunyai daya yang tinggi dibandingkan dengan kedua reaktor lainnya di Bandung dan Yogyakarta. Selain itu, RSG-GAS mengandung uranium yang banyak, Imam (2017, p.2), berpotensi risiko tinggi. Atas risiko ini, RSG-GAS ditetapkan sebagai kategori bahaya radiologi II (dua) dalam PerBAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir. Kategori tersebut artinya adanya potensi risiko yang ditimbulkan apabila terjadi kedaruratan nuklir atau radiologi, zat radioaktif dapat terlepas ke luar kawasan. Risiko tersebut, dapat dikurangi apabila dalam situasi terdapat potensi terjadi bencana (Bencana Fukushima Daiichi) dilakukan mitigasi.

Upaya mitigasi dilakukan atas amanah Perpres RI Nomor 87 Tahun 2020 tentang Rencana Induk Penanggulangan Bencana Tahun 2020-2044. Fokus capaian pada tahun 2020-2024 adalah meningkatnya kualitas infrastruktur vital salah satunya RSG-GAS yang berbasis mitigasi bencana. Mitigasi dalam Pasal 44 UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana adalah “upaya yang sangat diperlukan untuk mengurangi dan/atau meniadakan korban dan kerugian harta benda yang mungkin timbul dan berpengaruh pada kehidupan dan kegiatan manusia”. Upaya mitigasi dapat dilakukan secara struktural berupa pembangunan dan prasarana, dan nonstruktural berupa peraturan, penyuluhan, dan pendidikan sesuai dengan PerBNPB Nomor 4 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana.

Bencana akibat kegagalan teknologi nuklir yang dialami Fukushima disebabkan multi *hazard* (bencana gabungan) dari gempa bumi dan tsunami, RSG-GAS perlu mengidentifikasi ancaman bencana tersebut di area tapak RSG-GAS. Bappenas (2014), provinsi Banten sebagai wilayah

administrasi RSG-GAS berada telah diidentifikasi berpotensi peningkatan terjadi bencana, antara lain tanah longsor, banjir, kekeringan, cuaca ekstrim, gempabumi, dan tsunami (p.124).

Bencana alam ekstrem yang disebabkan fenomena meteorologi dan hidrologi dapat menyebabkan bahaya baik secara tunggal maupun kombinasi yang dapat mempengaruhi keselamatan RSG-GAS di KNS. Pemantauan kondisi cuaca/iklim (Meteorologi) di KNS diambil dari data stasiun Meteorologi Cengkareng, Curug dan Stasiun Klimatologi Pondok Betung-Ciledug. Curah hujan daerah KNS termasuk dalam wilayah yang dipengaruhi oleh pola curah hujan monsun. Hujan monsun ini, memiliki curah hujan tahunan rata-rata adalah 2.336 mm (dua ribu tiga ratus tiga puluh enam mili meter) sehingga kecepatan angin maksimum 48,2 m/s (empat puluh delapan koma dua meter per sekon). Temperatur maksimum-minimum 40,9°C - 25°C. Curah hujan maksimum berada pada 296 mm/hari (dua ratus sembilan puluh enam milimeter per hari), sedangkan kecepatan angin puting beliung berada pada 178 m/s. Pada tanggal 20 Mei 2007 angin puting beliung di Serpong, telah menumbangkan belasan pohon besar dalam radius 200 m dari lokasi RSG-GAS. Terkait ancaman angin puting beliung, RSG-GAS tidak memasukkan faktor terpaan angin terhadap keselamatan struktur bangunan (Pandi & Haifani, 2011, p.3). Kejadian serupa berpotensi menimbulkan bencana akibat kegagalan teknologi dapat mengubah struktur bangunan RSG-GAS. Oleh karena itu, selain mempertimbangkan keselamatan desain terhadap bencana alam, RSG-GAS perlu memiliki sistem peringatan dini yang aktif dan kuat sebagai upaya mitigasi struktural. Sistem ini, menjadi alat pendeteksi lepasan radioaktif juga sebagai alat pendeteksi bencana alam apapun yang dapat mengancam RSG-GAS. Belajar dari sistem deteksi tsunami yang dimiliki PLTN Fukushima Daiichi yang tidak berfungsi karena karena aliran listrik mati akibat gempabumi, RSG-GAS perlu memiliki alat pendeteksi lepasan radioaktif yang adekuat.

Di pihak lain, analisis kejadian petir di daerah Serpong telah dilakukan Zorro (1999) menyimpulkan bahwa analisis kerapatan sambaran *GFD* atau *Ng*. Hasil analisis menunjukkan jumlah sambaran petir ke tanah per kilometer persegi per tahun. Nilai *Ng* di daerah Serpong menunjukkan nilai kerapatan sambaran petir mencapai 15-40 sambaran/km²/tahun (lima belas sampai empat puluh sambaran atau kilo meter persegi atau per tahun) atau 95-182 sambaran/3km²/tahun (sembilan puluh lima sampai seratus delapan puluh dua sambaran atau tiga kilo meter persegi atau per tahun). Nilai ini mengindikasikan bahaya petir yang relatif tinggi di KNS sehingga perlu menjadi perhatian utama dalam desain dan konstruksi RSG-GAS.

Topografi daerah tapak RSG-GAS merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata +/- 60 meter lebih kurang enam puluh meter) di atas permukaan air laut. Sekitar 800 meter (delapan ratus meter) di luar kawasan Puspiptek terdapat sungai Cisadane yang tinggi permukaan airnya sekitar 20 meter (dua puluh meter) di bawah garis tapak. Debit air sungai rata-rata adalah 86,3 m³/detik (delapan puluh enam koma tiga meter kubik per detik). Daerah tapak RSG diapit dua sungai kecil yang bermuara ke sungai Cisadane, yaitu kali Cipelang dan kali Cisalak. Kali Cipelang terletak pada jarak 150 meter (seratus lima puluh meter) dari sebelah Timur tapak yang tinggi permukaan air 10 meter (sepuluh meter) di bawah garis tapak. Sekitar 50 meter (lima puluh meter) arah Selatan terdapat kali Cisalak dengan tinggi permukaan air 2 meter (dua meter) di bawah garis tapak. Lokasi RSG-GAS secara topografi dekat dengan sungai dan kali yang apabila terdapat curah hujan tinggi menimbulkan banjir di KNS, sehingga diperlukan perhatian terhadap desain dan struktur bangunan RSG-GAS.

Demografi di sekitar RSG-GAS dalam radius 5 KM (lima kilo meter) dari KNS semakin bertambah. Menurut data statistik (BPS, 2021) jumlah penduduk di Serpong pada tahun 2017 sebanyak 184.761,00 (seratus delapan puluh empat ribu tujuh ratus enam puluh satu) jiwa menjadi

bertambah 199 283,00 (seratus sembilan puluh sembilan ribu dua ratus delapan puluh tiga) jiwa pada tahun 2019 yang diberikan dalam Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Jumlah Penduduk Radius 5 KM (Lima Kilo Meter) Dari KNS

Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)		
	2017	2018	2019
Setu	86.783	89.825	92.890
Serpong	184.761	191.968	199.283
Pamulang	350.923	359.810	368.603
Ciputat	239.152	245.727	252.262
Ciputat Timur	211.003	215.186	219.261
Pondok Aren	392.284	405.316	418.420
Serpong Utara	179.993	188.476	197.187
Kota Tangsel	1.644.899	1696.308	1.747.906

Sumber: <https://tangselkota.bps.go.id>.

Tabel 1.2 memberikan gambaran bahwa setiap tahun terjadi penambahan jumlah demografi di sekitar KNS yang dapat menjadi kerentanan dalam tahapan tanggap darurat bencana. Penduduk yang padat di sekitar KNS dapat menjadi korban lebih banyak akibat lepasan radioaktif yang terjadi karena kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS. Proses evakuasi dapat terkendala akibat aktivitas penduduk di sekitar KNS yang padat, sehingga berdampak terhadap jalur transportasi yang dibutuhkan saat evakuasi. Selain itu, faktor meteorologi, hidrologi, dan topografi secara simultan dapat mempengaruhi SSK yang penting bagi keselamatan di RSG-GAS. Hal seperti ini pernah terjadi hilangnya fungsi sistem pemasok daya darurat seperti di Fukushima. Terendahnya air memungkinkan kehilangan daya listrik di luar RSG-GAS, sistem pembuangan panas peluruhan, dan sistem vital lainnya. Harianto et al. (2017, p.108) fenomena meteorologi dan hidrologi dapat juga mempengaruhi jaringan komunikasi dan jaringan perpindahan di sekitar daerah tapak instalasi nuklir. Fenomena tersebut oleh IAEA (2011) dapat

menghambat tanggap darurat, penyelamatan korban, dan sulitnya mengisolasi masyarakat, dengan dampak berupa kesulitan komunikasi dan pasokan sumber daya. Oleh karena itu, RSG-GAS perlu melakukan pelatihan kedaruratan secara berkala.

Pertambahan penduduk di sekitar KNS menjadi kerentanan tersendiri dalam proses evakuasi kedaruratan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir RSG-GAS. Hal ini terjadi apabila tidak diimbangi dengan pengetahuan penduduk terkait risiko radiasi akibat bencana yang ditimbulkan dari kegagalan teknologi nuklir. pernyataan di atas, sejalan dengan penelitian Apriliani (2020, p.90) mengenai sosialisasi tindakan pengurangan risiko bencana nuklir di KNS khususnya RSG-GAS kepada masyarakat. Penelitian ini, juga mengindikasikan masyarakat berharap adanya sosialisasi dari DPFK-BRIN sebagai tindakan mitigasi nonstruktural untuk menghadapi bencana akibat kegagalan teknologi. Selain itu, masyarakat atau komunitas sekitar RSG-GAS dapat melakukan tindakan pencegahan atau pengurangan risiko untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS.

BNPB diharapkan dapat menyiapkan upaya mitigasi ancaman kegagalan teknologi nuklir. Upaya ini dapat dilakukan dengan menyiapkan panduan atau kebijakan organisasi pengelola bencana nuklir, dan sistem manajemen bencana nuklir. Upaya lain yang diperlukan adalah mengalokasikan dana menghadapi ancaman bencana nuklir, serta menetapkan strategi proteksi radiasi, dan kebijakan untuk mengakhiri tanggap darurat bencana nuklir. Dalam penelitian Apriliani (2020, p.166), semua upaya tersebut diteliti masih kurang dengan nilai 34,1% (tiga puluh empat koma satu persen). Sedangkan untuk rencana darurat, peringatan dini dan mobilisasi sumber daya yang disiapkan BNPB dalam menghadapi ancaman bencana nuklir dikategorikan masih kurang dengan nilai 29% (dua puluh sembilan persen). Hal tersebut, dapat disebabkan karena pengaturan penanggulangan bencana akibat kegagalan teknologi nuklir

dalam UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana lebih fokus kepada bencana alam.

PP Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan Dan Keamanan Instalasi Nuklir Pasal 67 menekankan pentingnya upaya mitigasi nonstruktural untuk pelaksanaan tanggap darurat. Mitigasi nonstruktural ini berupa pelatihan atau geladi untuk tingkat petugas dan masyarakat. Dipihak lain, koordinasi antar organisai tanggap darurat sebagai dasar pengembangan dan perkuatan infrastruktur OTDN sangat vital. Koordinasi tersebut merupakan amanah dalam OTDN terdiri atas kementerian/lembaga terkait dari Instruksi Presiden Nomor 4 Tahun 2019 tentang Peningkatan Kemampuan Dalam Mencegah, Mendeteksi, dan Merespons Wabah Penyakit, Pandemi, Global, dan Kedaruratan Nuklir, Biologi, dan Kimia.

OTDN untuk bencana akibat kegagalan teknologi nuklir sampai saat ini masih berbentuk pedoman, padahal konteks ini menjadi pembelajaran dari bencana Fukushima. Kejelasan peran dan tanggung jawab organisasi pengoperasi, dengan otoritas lokal atau nasional menjadi perlu dalam sistem manajemen tanggap darurat nuklir Fukushima. Apabila terjadi kegagalan, koordinasi menyebabkan proses evakuasi penduduk dapat dilakukan dengan cepat. Hal ini, sesuai dengan prinsip cepat dan tepat dalam Pasal 1 UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Pasal tersebut menyebutkan bahwa penyelenggaraan penanggulangan bencana harus dilaksanakan secara cepat dan tepat sesuai dengan tuntutan keadaan. Mengingat sifat bencana akibat kegagalan teknologi nuklir menimbulkan radiasi ke lingkungan, seharusnya upaya penanggulangan bencana segera dilakukan setelah terdapat potensi lepasan radioaktif sebagai tindakan mitigatif untuk mengurangi risiko korban dari terpaparnya lepasan radiasi.

Berdasarkan pengamatan peneliti, kegagapan terhadap kedaruratan bencana akibat kegagalan teknologi di RSG-GAS masih mungkin dapat terjadi seperti yang terjadi di bencana Fukushima Daiichi Jepang, apabila

tidak dilakukan upaya mitigasi bencana. Oleh karena itu, upaya memperkuat sistem penyelenggaraan penanggulangan bencana di RSG-GAS, khususnya mitigasi struktural dan nonstruktural dalam menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dipandang penting. Peneliti telah melakukan penelitian yang diberi judul ***“Mitigasi Struktural dan Nonstruktural Untuk Menghadapai Ancaman Bencana Akibat Kegagalan Teknologi Nuklir di RSG-GAS Dalam KNS”***.

1.2 Fokus dan Subfokus

Fokus penelitian ini adalah mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS. RSG-GAS dipilih peneliti karena sebagai obyek vital dengan tingkat bahaya paling tinggi, dibanding reaktor penelitian lainnya di Indonesia dan fasilitas pendukung lainnya di KNS. Sebagai obyek vital, mitigasi struktural dan nonstruktural diperlukan sebagai upaya untuk mengurangi risiko yang mungkin saja dapat terjadi di dalam RSG-GAS, dan dapat mencegah terjadinya bencana akibat kegagalan teknologi nuklir seperti yang dialami PLTN Fukushima Daiichi.

Untuk memudahkan peneliti dalam mengidentifikasi upaya mitigasi di RSG-GAS, subfokus dalam penelitian ini ke mitigasi struktural terhadap desain, struktur bangunan, dan sistem deteksi dini. Sedangkan untuk mitigasi nonstruktural, subfokus penelitian pada peraturan perUUan, pelatihan, dan sosialisasi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah:

- a. bagaimana mitigasi struktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS?

- b. bagaimana mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS?
- c. bagaimana *lessons learned* kejadian bencana PLTN Fukushima Daiichi terhadap upaya mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

- a. menganalisis mitigasi struktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS.
- b. menganalisis mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS.
- c. menganalisis *lessons learned* kejadian bencana PLTN Fukushima Daiichi terhadap upaya mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat baik secara teoritis maupun praktis, yaitu sebagai berikut:

1.5.1 Manfaat Teoritis

- a. penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi bagi perkembangan Ilmu Pertahanan, khususnya dalam pertahanan nirmiliter terhadap ancaman aktual bencana nonalam yaitu bencana akibat kegagalan teknologi di RSG-GAS dalam KNS.

- b. penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman tentang mitigasi struktural dan mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS.

1.5.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi sebagai salah satu bahan masukan/pertimbangan dalam membuat kebijakan dan upaya-upaya mitigasi struktural dan mitigasi nonstruktural dalam menghadapi ancaman kegagalan teknologi nuklir, antara lain:

- a. Bapeten

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan masukan kepada Bapeten sebagai badan yang bertugas mengawasi pemanfaatan tenaga nuklir, untuk mengambil langkah mitigasi nonstruktural dalam rangka menghadapi ancaman kegagalan teknologi nuklir di KNS.

- b. DPFK

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan masukan kepada DPFK yang berada dalam naungan BRIN sebagai badan yang bertugas melakukan penelitian pemanfaatan tenaga nuklir, untuk mengambil langkah mitigasi struktural dalam rangka menghadapi ancaman kegagalan teknologi nuklir di KNS.

- c. BPBD Kota Tangsel.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan dan rekomendasi dalam upaya mitigasi struktural dan mitigasi nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di KNS. Sehingga bencana akibat kegagalan teknologi nuklir dapat dicegah dan didapatkan manfaatnya demi kesejahteraan Indonesia sehingga dapat mendukung keamanan nasional.

d. Pihak akademis dan masyarakat.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan kepada masyarakat mengenai kebencanaan, khususnya bencana akibat kegagalan teknologi khususnya di KNS. Masyarakat diharapkan lebih memahami apa yang dapat dilakukan dalam menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi, khususnya terkait mitigasi struktural dan nonstruktural untuk menghadapi ancaman bencana akibat kegagalan teknologi nuklir di RSG-GAS dalam KNS. Selain itu kesadaran masyarakat dapat meningkat atas pengetahuan tentang radiasi yang ditimbulkan akibat kegagalan teknologi nuklir. Selanjutnya, sikap masyarakat dalam upaya kedaruratan menjadi kondusif apabila bencana akibat kegagalan teknologi nuklir terjadi. Upaya-upaya di atas akan membangun ketangguhan masyarakat terhadap bencana dan mendukung keamanan nasional.

e. peneliti selanjutnya

Penelitian ini diharapkan mampu menjadi acuan bagi rekan-rekan peneliti lain dalam penelitian selanjutnya yang ingin mendalami topik seputar mitigasi struktural dan nonstruktural dalam rangka menghadapi ancaman kegagalan teknologi nuklir di KNS.