

KAJIAN BAHAYA TSUNAMI DALAM EVALUASI TAPAK PLTN SESUAI DENGAN DS 417

Akhmad Khusyairi

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
BAPETEN

ABSTRAK

KAJIAN BAHAYA TSUNAMI DALAM EVALUASI TAPAK PLTN SESUAI DENGAN DS 417. Dalam tahap evaluasi tapak PLTN, harus dilakukan evaluasi bahaya tsunami. Perubahan iklim global, khususnya fenomena meteorologi dan hidrologi ekstrim, berdampak pada struktur, sistem dan komponen penting yang terkait dengan keselamatan. Oleh karena itu IAEA melakukan upaya untuk merevisi IAEA safety standard series NS-G 3.4, Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants dan IAEA safety standard series NS-G 3.5 Flood Hazard For Nuclear Power Plants On Coastal And River Sites, guna memberikan perlindungan terhadap keselamatan masyarakat dan lingkungan akibat pengoperasian PLTN. Metode yang digunakan dalam melakukan evaluasi bahaya tsunami yaitu metode probabilistic dan metode deterministik. Dalam evaluasi bahaya tsunami, harus diperoleh beberapa informasi dan data yang diperlukan guna menentukan dasar desain tsunami untuk desain PLTN, khususnya yang terkait dengan desain sistem pendingin..Disamping itu juga harus dilakukan evaluasi terjadinya kejadian fenomena meteorologi yang bersamaan ataupun simultan dengan kejadian tsunami sehingga memberikan efek terparah pada tapak. Dengan demikian maka dapat direncanakan upaya perlindungan tapak tsunami ekstrim yang mungkin terjadi.

Kata kunci : tsunami, PLTN, tapak, evaluasi

ABSTRACT

TSUNAMI HAZARD ASSESSMENT ON NUCLEAR POWER PLANT SITE EVALUATION ACCORDANCE ON DS 417. Nuclear power plant site evaluation should conduct the hazard evaluation on tsunami. Global climate changes and particularly extreme meteorology and hydrology phenomena have an impact on the structure, systems and important components related to safety. Therefore, IAEA makes efforts to revise the IAEA Safety Standard Series NS-G 3.4, Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants and IAEA safety standard series NS-G 3.5 Flood Hazard For Nuclear Power Plants On Coastal And River Sites, in order to provide protection against the public and the environment safety due to operation of nuclear power plants. There are two methods used in assessing tsunami hazard, probabilistic and deterministic methods. In the tsunami hazard assessment, some necessary information and data should be obtained to determine the basic design of tsunami hazard during designing nuclear power plants, especially the cooling system design. Flooding caused tsunami must be evaluated to determine the site protection system. Furthermore, There must be an evaluation on either coincident event or meteorological simultaneously tsunami event that caused the worst effect on the site. Therefore, the protection of the site from extreme tsunami can be planned.

Keyword: tsunami, NPP, site, evaluation

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Tsunami merupakan salah satu fenomena alam yang mempunyai dampak signifikan terhadap keselamatan pengoperasian PLTN. Tsunami dapat terjadi akibat dari terjadinya perubahan dasar laut secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh seismic maupun aktivitas vulkanik. Disamping itu beberapa kondisi meteorology seperti badai tropis, dapat menyebabkan gelombang badai yang disebut sebagai meteotsunami yang ketinggiannya beberapa meter di atas gelombang laut normal. Ketika badai ini mencapai daratan, bentuknya bisa menyerupai tsunami, meski sebenarnya bukan tsunami. Gelombangnya bisa menggenangi daratan. Gelombang badai ini pernah menggenangi Burma (Myanmar) pada Mei 2008.

IAEA yang merupakan organisasi internasional yang banyak membidani berbagai standar keselamatan pengoperasian instalasi nuklir, mencoba melakukan revisi terhadap NS-G 3.4 yang dianggap sudah tidak relevan lagi digunakan saat ini. *IAEA Safety Guide NS-G 3.4* tidak mempertimbangkan fenomena meteorology ekstrim dalam kajian evaluasi tapak instalasi nuklir dan dampaknya pada keselamatan

(IAEA, 2003). Dalam rencana revisi ini telah memperhitungkan efek penurunan level air, sebelum terjadi tsunami, pada sistem pendingin PLTN.

1.2 Masalah

Pada *Safety Guide NS-G 3.4* dan *NS-G 3.5*, telah diatur tentang beberapa fenomena meteorology ekstrim, salah satu diantanya adalah tsunami akibat fenomena meteorology, namun tidak dipertimbangkan pengaruhnya terhadap sistem pendingin PLTN. Keselamatan sistem pendingin dalam sebuah instalasi nuklir memegang peranan penting dalam keselamatan pengoperasian PLTN secara keseluruhan. Untuk memberikan perlindungan terhadap masyarakat akibat potensi dampak radiologi yang mungkin terjadi akibat pengoperasian PLTN, maka diperlukan parameter-parameter fenomena meteorology yang harus dipertimbangkan dalam evaluasi tapak PLTN terkait dengan fenomena meteorology.

1.3 Tujuan

Memberikan panduan dalam melakukan kajian bahaya tsunami yang berpengaruh pada keselamatan pengoperasian instalasi nuklir, menentukan dasar desain, serta

menentukan upaya perlindungan tapak (IAEA, 2009).

1.4 Lingkup Masalah

Memberikan panduan dalam melakukan kajian bahaya tsunami yang berpengaruh pada keselamatan pengoperasian instalasi nuklir, menentukan dasar desain, serta menentukan upaya perlindungan tapak.

2. Bahan Kajian

2.1 Bahaya-Bahaya Meteorologi

Berbahaya

Beberapa parameter meteorology berpengaruh dalam keselamatan pengoperasian instalasi nuklir, khususnya PLTN, oleh karena itu pada tahap evaluasi tapak PLTN harus dikaji parameter-parameter meteorology yang berpengaruh pada PLTN. Parameter meteorologi yang harus dikaji dalam evaluasi tapak PLTN diantaranya adalah suhu udara, kecepatan angin, curah hujan, dan salju. Sedangkan fenomena meteorologi berbahaya yang harus dipertimbangkan dalam evaluasi tapak adalah; petir, siklon/badai tropis, typhoon dan hurricane, topan dan tornado, serta waterspouts. Sedangkan potensi fenomena lain yang mungkin terjadi yang harus diperhitungkan adalah; badai debu dan badai pasir, *hail*, serta badai es/salju.

Instalasi nuklir mempunyai masa operasi yang cukup panjang, untuk PLTN diasumsikan hingga 100 tahun, oleh karena itu diperlukan kajian terhadap perubahan bahaya seiring dengan berjalannya waktu sepanjang operasi instalasi nuklir. Perubahan fenomena bahaya ini seiring dengan terjadinya perubahan iklim global. Secara signifikan, perubahan iklim global berpengaruh pada keselamatan pengoperasian instalasi nuklir.

2.2 Banjir Tsunami

2.2.1 Diskripsi Umum Fenomena

Tsunami¹ adalah rangkaian gelombang berjalan yang memiliki panjang gelombang dan periode yang panjang, umumnya tsunami bisa memiliki panjang gelombang hingga ratusan km dan periode hingga puluhan menit atau jam. Tsunami dapat dihasilkan dari gempa bumi, tanah longsor bawah laut, batu jatuh atau kegagalan tebing, bahkan jatuhnya meteor besar². Rambatan tsunami bergerak ke segala arah. Selama proses propagasi,

¹ Dalam bahasa Jepang “nami” adalah gelombang, sedangkan “tsu” adalah pelabuhan

² Untuk meteor yang mengakibatkan tsunami, kajian yang dilakukan hingga saat ini tidak membuktikan bahwa frekwensi terjadinya kejadian ini melebihi level screening yang biasanya diadopsi.

kecepatan dan tinggi gelombang tsunami dipengaruhi oleh topografi bawah laut. Sedangkan propagasi gelombang dipengaruhi oleh refraksi, difraksi dan refleksi bukit laut.

Ketika tsunami mencapai wilayah pesisir, kecepatan dan panjang gelombang berkurang namun tinggi gelombang mengalami kenaikan. Kenaikan tinggi gelombang dipengaruhi oleh berapa factor, diataranya adalah topografi dan batimetri lokal, adanya pelabuhan, muara, teluk atau saluran laguna. Tsunami bisa membawa air dalam jumlah yang besar dan mengakibatkan genangan air didaratan yang dilaluinya.

Tsunami dapat menghasilkan efek arus besar pada pelabuhan dan teluk, saluran sungai, estuaria dan laguna. Disamping itu tsunami dapat menghasilkan efek sedimentasi akibat adanya gaya geser pada dasar laut.

Umumnya tsunami diakibatkan oleh adanya gempa bumi yang menyebabkan terjadinya deformasi dasar laut dengan kedalaman <50 km dan magnitudo $M>6,5$. Disamping itu tsunami juga dapat dihasilkan dari fenomena vulkanik yang mengakibatkan adanya tanah longsor, aliran piroklastik, atau

puing-puing longsor maupun letusan gunung api bawah laut.

Tsunami dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tsunami local dan tsunami jauh. Tsunami local merupakan tsunami yang hanya berpengaruh pada daerah disekitar sumbernya. Semetara itu tsunami jauh merupakan tsunami yang berpotensi memberikan dampak yang lebih luas setelah mengalami perjalanan di samudera ataupun lautan.

2.3 Rekomendasi Umum

2.3.1 Kajian Awal

Perlu dilakukan penyederhanaan kriteria *screening* (lihat Gambar 1.), jika pada tapak tersebut menunjukkan tidak ada bukti terjadinya tsunami di masa lalu, terletak lebih dari 10 km dari garis pantai, atau terletak lebih dari 1 km dari garis pantai danau atau *fjord*, atau lebih dari 50 m elevasi dari tingkat rata-rata air, maka tidak lagi diperlukan penyelidikan lebih lanjut untuk menganalisis bahaya tsunami pada tapak.

Jika terdapat potensi tsunami pada suatu tapak, maka harus diperhitungkan keamanan pasokan air pendingin untuk beberapa jam kedepan, karena tsunami umumnya didahului dengan kejadian air

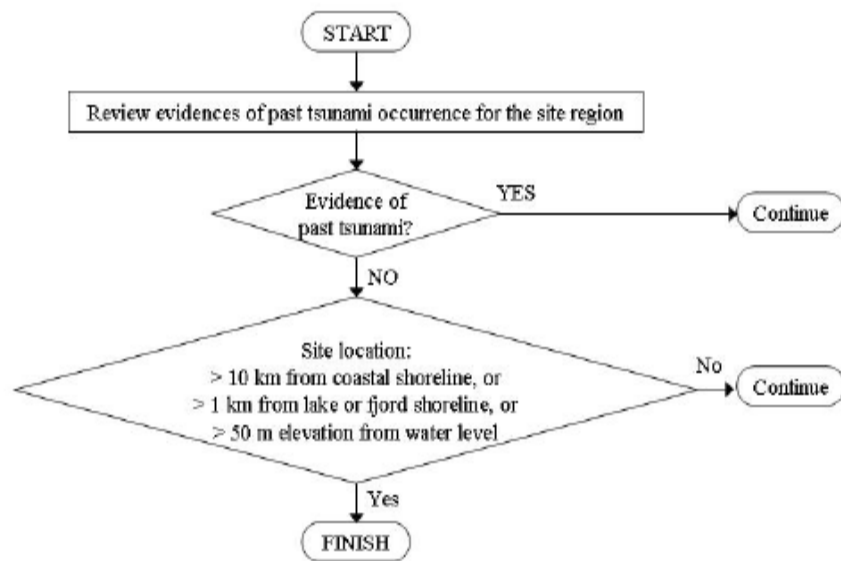
surut (*draw down*) selama beberapa jam.

2.3.2 Detail Kajian

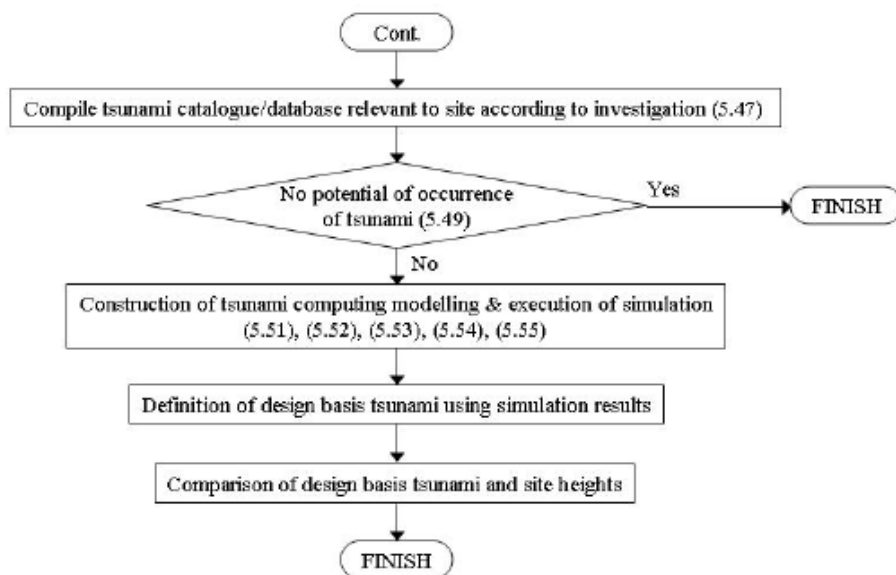
Langkah pertama yang harus dilakukan dalam kajian secara rinci adalah

mengkompilasi sebuah catalog/database tsunami spesifik untuk menentukan kejadian tsunami dimasa lalu ada atau tidak, jika memang ada maka diperlukan karakterisasi tsunami (lihat Gambar 1).

Initial Assessment Stage: Consideration of Publicly Available Information (5.44)



Detailed Assessment Stage: Consideration of Design Basis Tsunami



Gambar 1. Kajian awal dan kajian secara detail terhadap bahaya tsunami

Dalam penyelidikan awal, harus diselidiki baik potensi tsunami local maupun tsunami jauh. Keberadaan aktivitas vulkano pada jarak kurang dari 1000 km merupakan indikasi kemungkinan terjadinya tsunami local. Sedangkan potensi tsunami jauh dapat diselidiki dengan mengevaluasi semua sumber seismogenik yang ada pada dan sekitar laut tertentu dimana tapak berada. Jika hasil studi dan investigasi menunjukkan tidak ada potensi terjadinya tsunami, maka tidak lagi diperlukan kajian lebih lanjut. Namun sebaliknya, jika terdapat potensi terjadinya tsunami maka harus dilakukan analisis bahaya tsunami untuk menentukan dasar desain tsunami. Dalam melakukan simulasi numerik, harus dilakukan mulai dari tahap pembangkitan, propagasi dan proses pantai dengan memprhitungkan kondisi dan batas awal serta data batimetri dan topografi. Model elastik sumber gempa digunakan untuk memberikan deformasi dasar laut akibat gempa yang kemudian digunakan sebagai bidang awal air-gelombang. Sedangkan untuk sumber tsunami tanah longsor dan fenomena vulkanik mempunyai durasi lebih lama dan harus diperhitungkan dinamika sumber/interaksi air-gelombang.

Gesekan non-linier dan friksi dasar laut dapat diabaikan pada air dalam (lebih dari 100 m). sedangkan untuk sumber skala kecil atau propagasi jarak jauh, harus dipertimbangkan frekwensi gelombang efek dispersi.

Hasil perhitungan dipengaruhi oleh resolusi dan akurasi data batimetri dan topografi dekat pantai. Ukuran grid spasial, tahapan atau langkah-langkah, batas penghubung antar ukuran mesh harus didefinisikan untuk memberikan stabilitas perhitungan numeric, selain itu harus diperhitungkan pula level air pasang surut.

3. Kajian Bahaya

3.1 Metode Kajian Bahaya Tsunami Akibat Gempa

Dalam kajian ini, kajian dilakukan dengan menggunakan analisis bahaya deterministic, atau analisis bahaya probabilistik maupun penggunaan keduanya. Pemilihan penggunaan metode bergantung pada sejumlah faktor dan juga harus ditentukan estimasi kuantitatif dari ketidakpastian hasil kajian.

Ketidakpastian terbagi menjadi dua kelompok yaitu ketidakpastian yang tidak disengaja dan ketidakpastian epistemis. Ketidakpastian muncul

sebagai akibat dari perbedaan penafsiran informasi oleh para ahli. Pendapat ahli tidak boleh digunakan sebagai pengganti untuk memperoleh data baru. Pengumpulan data tapak spesifik cenderung untuk mengurangi ketidakpastian.

3.2 Metode Deterministik

Simulasi numerik yang menggunakan pendekatan deterministik³ dilakukan dengan langkah sebagai berikut;

1. menyusun dan memvalidasi model berdasarkan catatan sejarah, yang diawali dengan pemilihan sejarah tsunami terbesar pada dan disekitar tapak, identifikasi dan validasi *run up*, identifikasi patahan, menyusun dan menjalankan model, membandingkan hasil simulasi dengan sejarah ketinggian *run up* kemudian penyesuaian model.
2. menggunakan model numerik guna memperkirakan tsunami seismogenik yang diawali dengan pemilihan sumber tsunami local dan jauh,

identifikasi parameter patahan, melakukan perhitungan numerik

Dalam analisis dengan menggunakan metode deterministik, ketidakpastian harus diperhitungkan, oleh karena itu perlu dilakukan estimasi terhadap ketidakpastian sumber tsunami, ketidakpastian dalam perhitungan numerik, dan ketidakpastian di bawah laut dan topografi pesisir. Dalam rangka mengambil ketidakpastian sebagai bahan pertimbangan, diperlukan studi parametric terhadap factor dominan. Sebagai langkah akhir harus dilakukan verifikasi ketinggian *run up* maksimum dan minimum dibandingkan dengan sejarah potensi tsunami.

3.3 Pendekatan Probabilistik

PTHA (Probabilistic Tsunami Hazards Analysis) dan PSHA (Probabilistic Seismic Hazards Analysis), di beberapa Negara anggota saat ini sudah tidak digunakan lagi untuk mengkaji bahaya tsunami. Namun saat ini menggunakan pendekatan probabilistik meskipun saat ini prosedur standarnya belum dikembangkan. Hasil PTHA biasanya disajikan dalam bentuk frekwensi rata-rata tahunan atau median terlampauinya nilai tinggi *run up* dengan menggunakan logika pohon.

³ Pada lampiran 2, tercantum juga praktek yang digunakan pada beberapa Negara saat ini.

3.4 Metode Kajian Bahaya Tsunami Akibat Tanah Longsor

Sumber kejadian tanah longsor dapat dikarakterisasi dengan menggunakan parameter volume maksimum yang ditentukan dari pemetaan geologi dasar laut maupun penanggalan umur geologi sejarah tanah longsor, sedangkan untuk mengkaji kapasitas pembangkitan tsunami potensial harus dilakukan analisis kestabilan lereng. Untuk beberapa wilayah dimana data tidak memadai, maka dilakukan kajian dengan menggunakan metode deterministic. Dalam pemodelan numeric ini harus dipasngkan tanah longsor dengan gerakan air yang dihasilkan. Jika dibandingkan dengan ukuran sumber tsunami akibat gempa, maka dampak

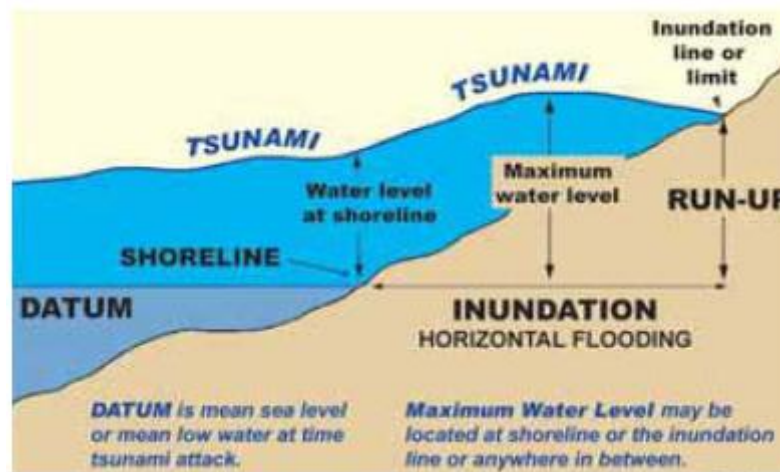
tsunami jenis ini biasanya terbatas disekitar sumber dan tidak teramati pada jarak puluhan kilometer dari sumber.

3.5 Metode Kajian Bahaya Tsunami Akibat Fenomena Gunung Api

Metode pemodelan tsunami akibat fenomena vulkanologi telah diusulkan, namun prosedur standar evaluasi belum dikembangkan.

3.6 Parameter Hasil Kajian Bahaya

Hasil kajian bahaya ini harus memperoleh data diantaranya level air maksimum pada garis pantai, tinggi *run up*, genangan horizontal banjir, level air maksimum pada tapak, level air minimum pada garis pantai serta durasi *draw down* dibawah pipa masuk pendingin.



Gambar 2. Parameter dari kajian bahaya tsunami

3.7 Sistem Pemantauan Meteorologi

Jika tapak instalasi nuklir masuk dalam jangkauan sistem pemantauan dan peringatan nasional, maka administrasi komunikasi data yang andal dan tepat waktu harus diatur secara jelas. Namun jika tidak, maka harus dipertimbangkan untuk mendirikan stasiun pemantau dan peringatan. Sistem maupun stasiun pemantau harus berjarak kurang dari 100 km dari lokasi tapak dengan frekwensi pengamatan tidak kurang dari 2 kali sehari.

Jalur komunikasi serupa juga dapat dibuat dengan Badan Meteorologi dan Hidrologi Nasional untuk memperoleh data hasil pengamatan dan peringatan terhadap kemungkinan terjadinya cuaca buruk. Ketersediaan data dari radar cuaca dan citra satelit secara teratur dapat memberikan informasi terkait tapak yang kemudian bisa digunakan dalam memberikan peringatan sedini mungkin terkait dengan potensi bahaya.

4. Pembahasan

Hingga kini, ilmu tentang tsunami sudah cukup berkembang, meskipun proses terjadinya tsunami masih banyak yang belum diketahui dengan

pasti. Episenter dari sebuah gempa bawah laut dan kemungkinan kejadian tsunami dapat cepat dihitung. Pemodelan tsunami yang baik telah berhasil memperkirakan seberapa besar tinggi gelombang tsunami di daerah sumber, kecepatan penjararannya dan waktu sampai di pantai, berapa ketinggian tsunami di pantai dan seberapa jauh rendaman yang mungkin terjadi di daratan. Walaupun begitu, karena faktor alamiah, seperti kompleksitas topografi dan batimetri sekitar pantai dan adanya corak ragam tutupan lahan (baik tumbuhan, bangunan, dll), perkiraan waktu kedatangan tsunami, ketinggian dan jarak rendaman tsunami masih belum bisa dimodelkan secara akurat (Wikipedia).

Jika terbukti terdapat potensi tsunami signifikan pada dan disekitar tapak, maka komunikasi dengan pusat pengamatan/peringatan tsunami. Pihak instalasi nuklir harus menetapkan prosedur operasi standar dengan mengingat perkiraan waktu kedatangan dan tinggi tsunami, dan setelah pembatalan lokal/peringatan tsunami nasional.

Jika pada dan di sekitar tapak tidak terdapat sistem peringatan tsunami lokal, nasional maupun regional, maka

pihak organisasi pengoperasi instalasi nuklir harus dapat memastikan bisa menerima “pesan” dari pusat pemantauan nasional, regional ataupun seismic global.

Terkait dengan level air laut disepanjang pantai, pihak organisasi pengoperasi instalasi nuklir harus membuat kerjasama dengan pihak yang bertanggungjawab terhadap sistem pemantau level air laut sehingga bisa menerima sata *real time* dari semua sistem pemantau level air laut disepanjang pantai. Jika instalasi nuklir terletak disepanjang sungai maka harus dipasang stasiun pemantau di muara.

Terkait dengan kegunungapian, beberapa observatorium telah melakukan studi khusus dan pemantauan tsunami akibat dari aktivitas vulkanik. Jika tapak terletak didekat gunung berapi, maka harus dibangun kerjasama guna mendapatkan informasi akurat status sistem pemantauan dan peringatan yang telah terpasang.

Efek yang dihasilkan dari kejadian tsunami dapat berupa efek langsung maupun tidak langsung, terlebih lagi berpengaruh pada pasokan air sistem pendingin dan power supply *off-site*. Dalam *safety guide draft* (DS

417) ini memberikan panduan mulai dari perencanaan pelaksanaan evaluasi tapak hingga pemantauan parameter meteorology pada tahap operasi. Pada tahap perencanaan harus direncanakan secara detail parameter yang perlu dikaji, apakah cukup pada wilayah tapak, disekitar tapak maupun regional. Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan metode deterministic, probabilistic maupun keduanya. Kondisi *draw down* merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap keselamatan pengoperasian PLTN, khususnya PLTN yang menggunakan sistem pendingin dari air laut. Desain sistem pendingin harus mempertimbangkan kondisi *draw down* terendah yang yang mungkin terjadi sehingga PLTN tidak mengalami masalah pendinginan ketika terjadi tsunami.

Dalam mempelajari parameter-parameter meteorologi berdasarkan model-model computer menggunakan prinsip-prinsip dasar dinamika fluida, transfer radiasi, dan proses-proses lainnya, dengan beberapa penyederhanaan, hal ini disebabkan karena adanya keterbatasan kemampuan komputer.

Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan model-model, maka diperoleh nilai parameter

meteorology. Tahap selanjutnya yaitu menggunakan nilai parameter meteorology yang dihasilkan dari kajian dengan menambahkan maupun melebihi nilai yang didapat sebagai nilai dasar desain parameter meteorology. Nilai dasar desain parameter meteorologi digunakan dalam desain instalasi dan upaya desain perlindungan tapak.

Pada tahap konstruksi hingga tahap operasi instalasi nuklir, khususnya PLTN, pemantauan parameter meteorologi harus tetap dilakukan untuk digunakan dalam kajian ulang berkala parameter meteorology dan parameter dasar desain guna mengantisipasi dampak fenomena meteorology ekstrim yang mungkin terjadi.

5. Kesimpulan

Tsunami mempunyai dampak yang sangat signifikan pada instalasi nuklir, khususnya PLTN, oleh karena itu diperlukan kajian secara detail terhadap bahaya tsunami untuk keselamatan pengoperasian PLTN, yang kemudian data yang dihasilkan digunakan sebagai dasar desain tsunami yang harus diperhitungkan dalam desain PLTN. Umumnya sebelum terjadinya tsunami, diawali dengan kejadian *draw down* untuk periode waktu tertentu, hal

ini berpengaruh pada pasokan air sistem pendingin PLTN. Oleh karena *draw down* harus masuk dalam perhitungan desain PLTN.

Pasokan sistem pendingin setelah terjadinya tsunami mutlak diperlukan PLTN meskipun status PLTN telah *shut down*, oleh karenanya desain sistem pendingin dan SSK (struktur, sistem dan komponen) penting yang terkait dengan keselamatan harus mempertimbangkan banjir akibat tsunami. Hasil dari kajian ini akan digunakan dalam penentuan tinggi tsunami dasar desain yang kemudian digunakan dalam menentukan desain instalasi nuklir serta upaya perlindungan tapak terhadap bahaya tsunami.

Dalam evaluasi tapak PLTN, kajian bahaya tsunami harus mengasumsikan bahwa operasi PLTN hingga 100 tahun, oleh karenanya perubahan iklim hingga 100 tahun kedepan yang berpotensi menimbulkan tsunami harus diprediksikan dampaknya. Dalam tahap konstruksi hingga operasi PLTN, pemantauan tetap dilakukan untuk digunakan dalam melakukan kajian ulang berkala nilai parameter dasar desain.

6. Daftar Pustaka

- [1] IAEA. (2009). *Draft of Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installation*. Viena: IAEA.
- [2] IAEA. (2003). *Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants* . Vienna: IAEA.
- [3] *Wikipedia*. (n.d.). Retrieved May 18, 2011, from <http://id.wikipedia.org/wiki/Tsunami>