



Studi Keselamatan PLTN Bawah Tanah

Fery Putrawan Cusmanri¹

¹Department of NPP Engineering, KEPCO International Nuclear Graduate School
658-91 Haemaji-ro, Seosaeng-myeon, Ulju-gun, Ulsan 45014 Korea Selatan

feryputrawanc@gmail.com

Makalah Penelitian

Menyerahkan

12 Juni 2022

Diterima

6 Juli 2022

Terbit

29 Juli 2022

ABSTRAK

STUDI KESELAMATAN PLTN BAWAH TANAH. Pertumbuhan manusia memberikan konsekuensi terhadap dalam penggunaan lahan. Pembangunan fasilitas dan industri untuk memenuhi kebutuhan manusia membuat ketersediaan lahan untuk ekosistem alam dan pertanian cenderung menurun. Penggunaan lahan tersebut salah satunya pada sektor energi, di antaranya pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Oleh karena itu, pengembang PLTN saat ini telah mengembangkan beberapa desain PLTN dengan ukuran yang kecil yaitu *Small Modular Reactor* (SMR), *Micro Modular Reactor* (MMR), dan PLTN bawah tanah. Selain penghematan ruang, PLTN bawah tanah sendiri memiliki beberapa kelebihan yaitu peningkatan keamanan, penguatan pengungkung, dan perlindungan dari sejumlah kejadian eksternal. Di sisi lain, persoalan keselamatan tetap harus menjadi fokus utama dari desain PLTN ini. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 54 Tahun 2012, keselamatan merupakan suatu ketentuan yang harus dipenuhi oleh badan usaha yang ingin melaksanakan pembangunan, pengoperasian, dan dekomisioning. Makalah ini disusun untuk mengelaborasi hal-hal yang harus dipertimbangkan untuk desain PLTN ini. Telaah dilakukan berdasarkan katalog desain PLTN *Super-Safe, Small and Simple Reactor* (4S) yang dikembangkan oleh Toshiba dan dikombinasikan dengan referensi lain terkait struktur gedung bawah tanah. Dari hasil telaah didapatkan bahwa beberapa hal yang harus dipertimbangkan untuk desain PLTN bawah tanah adalah hidrologi, sifat tanah, kemungkinan kecelakaan akibat runtuh, pemeliharaan, dan penanggulangan kedaruratan nuklir.

Kata kunci: PLTN, PLTN Bawah Tanah, Keselamatan, Desain PLTN

ABSTRACT

STUDY OF SAFETY FOR UNDERGROUND NPP. Human growth has consequences for land use. The construction of facilities and industries to meet human needs makes the availability of land for natural ecosystems, and agriculture tends to decrease. One land use in the energy sector includes constructing a Nuclear Power Plant (NPP). Therefore, NPP developers have currently developed several designs of nuclear power plants with small sizes, namely *Small Modular Reactor* (SMR), *Micro Modular Reactor* (MMR), and underground NPP. In addition to saving space, underground nuclear power plants have several advantages, namely increased security, strengthened containment, and protection from external events.

On the other hand, safety issues must still be the main focus of this NPP design. Based on Government Regulation 54 of 2012, safety is a provision that must be met by business entities wanting to carry out construction, operation, and decommissioning. Therefore, this paper is prepared to elaborate on what must be considered for this NPP design. The study was carried out based on the design catalog of the *Super-Safe, Small, and Simple Reactor* (4S) nuclear power plant developed by Toshiba and combined with other references related to underground building structures. The results of the study found that several things must consider for the design of an underground NPP hydrology, soil properties, the possibility of accidents due to debris, maintenance, and response to nuclear emergencies.

Keywords: NPP, Underground NPP, Safety, NPP Design

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah manusia memberikan konsekuensi dalam penggunaan lahan. Pemenuhan kebutuhan mendasar seperti pendidikan dan kesehatan serta penunjang kehidupan lainnya seperti industri, energi, dan teknologi telah mendorong adanya

pengalihan fungsi lahan. Pengalihan fungsi lahan ini di antaranya terlihat pada penurunan ketersediaan lahan pada berbagai sektor seperti pertanian [1], hutan [2], dan lain-lain.

Di antara pengalihan lahan untuk penyediaan energi adalah PLTN. Menurut laporan yang diterbitkan

oleh STRATA [3], untuk setiap megawatt yang dihasilkan sebuah PLTN membutuhkan 12,71 hektar lahan. Pada asalnya, jumlah ini terus coba direduksi oleh pengembang teknologi PLTN. Di antaranya melalui pengembangan tipe PLTN SMR, MMR, dan melalui penempatan PLTN di bawah tanah.

Pengembangan PLTN di bawah tanah sendiri memiliki keuntungan dalam hal penghematan ruang, dimana desain ini memungkinkan komponen lain seperti pembangkit uap dan turbin untuk diletakkan pada posisi sejajar di atas reaktor dibandingkan pada ketinggian yang sama seperti pada beberapa desain yang ada.

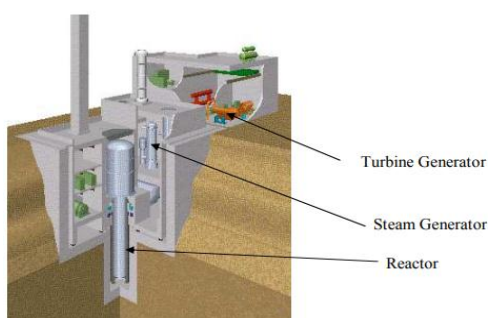
Terlepas dari jenis desain yang ada, faktor keselamatan tetap menjadi pertimbangan yang penting. Menurut PP Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, keselamatan PLTN merupakan suatu ketentuan yang harus dipenuhi oleh badan usaha yang ingin melaksanakan pembangunan, pengoperasian, dan dekomisioning [4]. Pertimbangan keselamatan ini menjadi satu hal yang lebih ditekankan lagi, terutama mengingat terdapat sejumlah kejadian pada struktur non-nuklir yang di tempatkan di bawah tanah [5].

Badan Pengawas Tenaga Nuklir saat ini sedang dalam tahapan revisi Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Makalah ini ditulis untuk menelaah ketentuan keselamatan yang harus dipertimbangkan dalam pembangunan dan operasi PLTN yang ditempatkan di bawah tanah. Diharapkan makalah ini juga dapat menjadi bahan masukan untuk perancang PLTN yang berminat dalam desain PLTN di bawah tanah dan badan pengawas dalam menyusun kebijakan untuk tipe PLTN ini.

LANDASAN TEORI

Gambaran Umum PLTN di Bawah Tanah

Terdapat beberapa model pengembangan dalam desain reaktor di bawah tanah, dimana kebanyakan dari desain ini merupakan desain untuk PLTN tipe SMR dan MMR. Pada umumnya, desain PLTN di bawah tanah ini menempatkan semua sistem berada di bawah tanah kecuali pada sistem pembangkit listrik, termasuk turbin dan generator, salah satunya pada desain reaktor *Super-Safe, Small and Simple Reactor (4S)* yang dikembangkan oleh Toshiba. Gambar 1 menunjukkan konsep desain dari PLTN 4S Toshiba [6].



Gambar 1. Desain PLTN 4S Toshiba

Kelebihan PLTN di Bawah Tanah

Pada PLTN dengan desain ini terdapat beberapa kelebihan yang tidak dimiliki PLTN pada desain di atas tanah. Kelebihan-kelebihan ini disadur dari katalog PLTN 4S Toshiba [6] dan sumber lain yang membahas tentang kelebihan pada struktur bawah tanah secara umum [7, 8]. Di antara kelebihan-kelebihan tersebut adalah:

Penghematan Ruang

Seperti yang telah dipaparkan pada pendahuluan, desain PLTN dengan gedung reaktor ditempatkan di bawah tanah menggunakan ruang yang lebih sedikit daripada PLTN di atas tanah. Hal ini karena beberapa komponen lainnya dapat diletakkan di atas gedung reaktor.

Peningkatan Keamanan

Keberadaan reaktor yang tersembunyi di bawah tanah membuatnya menjadi lebih sulit untuk dijadikan sasaran untuk kegiatan sabotase. Keberadaan gedung reaktor di bawah tanah pun dapat membantu strategi keamanan untuk menunda pergerakan musuh, dimana ketika musuh telah terjebak di dalam gedung reaktor maka dia tidak memiliki jalan keluar lain dikarenakan gedung reaktor dikelilingi oleh tanah.

Penguatan Pengungkung

Pada desain reaktor di atas tanah, pengungkungan dilakukan dengan memperkuat struktur pengungkung demi menahan tekanan berlebih dalam gedung reaktor. Pada kasus gedung reaktor di bawah tanah, keberadaan struktur tanah yang mengelilingi struktur gedung reaktor dapat menambah kekuatan struktur dalam menahan tekanan di dalam gedung reaktor.

Perlindungan dari Sejumlah Kejadian Eksternal

Dikarenakan gedung reaktor ditempatkan di bawah tanah, reaktor dapat terlindungi atau mendapatkan dampak minimal dari beberapa kejadian eksternal. Kejadian-kejadian eksternal tersebut antara lain: angin kencang, gempa bumi, dan kebakaran eksternal.

Perlindungan terhadap angin kencang dan kebakaran eksternal dimungkinkan karena probabilitas reaktor untuk terdampak langsung oleh kejadian-kejadian tersebut sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Pada kasus kebakaran eksternal, kejadian tersebut dapat ditanggulangi terlebih dahulu pada bagian permukaan tanah sebelum masuk ke dalam gedung reaktor.

Adapun efek gempa bumi pada asalnya akan maksimal ketika mendekati permukaan. Sehingga dengan struktur yang ditempatkan di bawah permukaan tanah akan merasakan dampak yang lebih ringan [7].

METODE

Makalah ini ditulis dengan metode deskriptif, analitik, dan kualitatif disertai dengan telaah pada

dokumen dan standar internasional mengenai ketentuan keselamatan desain PLTN yang dilanjutkan dengan menelaah ketentuan keselamatan desain struktur bawah tanah untuk mendapatkan hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam desain PLTN bawah tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan telaah pada sejumlah referensi, beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam desain PLTN di bawah tanah di antaranya:

Hidrologi

Kemungkinan suatu struktur bawah tanah untuk terdampak banjir sangatlah besar. Sejumlah kejadian banjir pada struktur di bawah tanah telah banyak terjadi di dunia [9]. Sumber asal banjir ini sendiri dapat berasal dari air tanah atau siklus hidrologi lainnya seperti tsunami, luapan air sungai, hujan besar, dan lain-lain [10].

Keberadaan air tanah untuk desain PLTN ini harus menjadi perhatian khusus. Karena keberadaan air tanah dapat mengarah pada banjir ke dalam gedung reaktor apabila terdapat retak atau bocor pada struktur gedung reaktor.

Walau pada akhirnya tidak mengarah pada kondisi kerusakan pada teras, namun ada kemungkinan terbawanya zat radioaktif atau kontaminasi ke lingkungan diakibatkan oleh arus air yang masuk ke dalam gedung reaktor. Arus air ini dapat terbawa keluar melalui celah pada gedung reaktor. Keberadaan air apabila banjir terjadi akan memberikan kesulitan tersendiri untuk dapat mengeluarkan air dari gedung reaktor tersebut. Dikarenakan reaktor berperan sebagai wadah bagi air, maka diperlukan usaha lebih lanjut untuk mengeluarkan air yang terkumpul.

Desainer PLTN untuk tipe ini harus merancang suatu sistem yang dapat menahan air untuk masuk ke dalam gedung reaktor dan sistem untuk mencegah air yang terkontaminasi untuk keluar ke lingkungan apabila banjir tidak dapat dihindari.

Sifat Tanah

Sifat tanah dimana bangunan akan dibangun harus menjadi pertimbangan yang signifikan dalam penyusunan desain suatu bangunan. Tanah lunak pada umumnya mengharuskan gedung untuk didesain dengan lebih kuat dibandingkan pada tanah keras terutama untuk mengantisipasi gempa [11]. Oleh karena itu, data struktur dan sifat tanah pada tapak PLTN harus dilakukan dengan akurat.

Kemungkinan Kecelakaan Akibat Runtuhan

Desain reaktor yang memungkinkan adanya struktur lain pada bagian atas gedung reaktor mengakibatkan adanya kemungkinan runtuh ke dalam gedung reaktor. Oleh karena itu, gedung reaktor harus didesain untuk dapat mencegah situasi runtuh yang

terjadi atau dapat mencegah kerusakan apabila runtuh tidak dapat dihindari.

Pemeliharaan

Kondisi instalasi yang berada di bawah memberikan kerumitan tersendiri dibandingkan dengan desain PLTN tradisional. Penempatan struktur yang terbatas langsung pada struktur tanah membuat proses pemeliharaan menjadi tidak mungkin dilakukan pada titik-titik tertentu seperti yang digambarkan pada katalog 4S Toshiba [6]. Apabila terdapat kerusakan atau retak pada dinding struktur, maka perbaikan hanya dapat dilakukan dari bagian dalam gedung.

Lebih lanjut, pemeliharaan pada bagian struktur yang terhubung langsung dengan tanah juga menjadi lebih rumit. Pada kondisi dimana struktur memerlukan pemeliharaan seperti penambalan, pengecatan, dan lainnya.

Oleh karena itu, PLTN harus memiliki suatu mekanisme untuk mengatasi permasalahan untuk tahap pemeliharaan struktur gedung reaktor. Mekanisme ini termasuk cara untuk mendeteksi kerusakan atau keretakan dan teknik pemeliharaan pada bagian luar struktur yang langsung menempel pada tanah.

Penanggulangan Kedaruratan Nuklir

Sebagai bagian dari penanggulangan kedaruratan nuklir, pemegang izin harus memberikan arahan tentang pembatasan konsumsi pangan dan air kepada masyarakat [12]. Untuk itu, PI dengan desain PLTN bawah tanah harus mempertimbangkan kemungkinan kontaminasi air tanah di sekitar reaktor dikarenakan dispersi pada reaktor bawah tanah akan berbeda dengan reaktor yang ditempatkan di atas tanah.

Selain itu, keberadaan gedung reaktor yang ada di bawah tanah akan memberikan kesulitan untuk melakukan pergerakan manusia. Keharusan untuk naik dan turun dalam frekuensi yang tinggi akan meningkatkan kemungkinan kelelahan (*fatigue*) pada fisik. Kombinasi stres dikarenakan kondisi darurat dan kelelahan dapat meningkatkan probabilitas *human error* (kesalahan manusia) [13].

KESIMPULAN

Kemungkinan pembangunan PLTN di bawah tanah merupakan opsi yang menarik terutama menimbang manfaatnya dalam reduksi penggunaan lahan. Namun, faktor keselamatan dari desain ini harus tetap diperhatikan. Dari telaah terhadap sejumlah referensi, didapatkan faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam desain PLTN bawah tanah:

1. Hidrologi;
2. Sifat Tanah;
3. Kemungkinan Kecelakaan Akibat Runtuhan;
4. Pemeliharaan; dan
5. Penanggulangan Kedaruratan Nuklir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada direktur DP2IBN Haendra Subekti, Koordinator Pengaturan Reaktor Daya Catur Febriyanto Sutopo, staf senior, dan personel lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. R. B. Prihadin, "Alih Fungsi Lahan Di Perkotaan (Studi Kasus Di Kota Bandung Dan Yogyakarta)," *J. Aspir.*, vol. 6, no. 2, pp. 105–118, 2016, doi: 10.22212/aspirasi.v6i2.507.
- [2]. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Direktorat Inventarisasi Dan Pemantauan Sumber Daya Hutan Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan Dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Tahun 2021," pp. 1–170, 2021.
- [3]. S. Landon, P. Strata, A. Barrett, C. Cowan, K. Colton, and D. Johnson, "The Footprint of Energy : Land Use of U . S . Electricity Production June 2017," 2017, [Online]. Available: <https://www.strata.org/pdf/2017/footprints-full.pdf>
- [4]. Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*. Jakarta, 2012.
- [5]. Y. M. A. Hashash, J. J. Hook, B. Schmidt, and J. I-Chiang Yao, "Seismic design and analysis of underground structures," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 16, no. 4, pp. 247–293, 2001, doi: 10.1016/S0886-7798(01)00051-7.
- [6]. Toshiba Corporation and Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), "SUPER-SAFE, SMALL AND SIMPLE REACTOR (4S, TOSHIBA DESIGN)," 2013. doi: 10.2320/materia.44.24.
- [7]. R. Sterling and P. Nelson, "City Resiliency and Underground Space Use," *Proc. 13th World Conference ACUUS Adv. Undergr. Sp. Dev. ACUUS 2012*, pp. 943–950, 2013, doi: 10.3850/978-981-07-3757-3RP-056-P277.
- [8]. N. Adhim, "Penggunaan Ruang Bawah Tanah Dilema Antara Kebutuhan dan Pengaturan," *J. Hukum, Univ. Diponegoro*, vol. 4, pp. 1–11, 2019.
- [9]. E. Forero-Ortiz, E. Martínez-Gomariz, M. C. Porcuna, L. Locatelli, and B. Russo, "Flood risk assessment in an underground railway system under the impact of climate change-A case study of the Barcelona Metro," *Sustain.*, vol. 12, no. 13, pp. 1–26, 2020, doi: 10.3390/su12135291.
- [10]. E. Office of Underground Storage Tanks, "Underground Storage Tank FLOOD GUIDE," 2020.
- [11]. Y. Tajunnisa and S. K. Aziz, "Perbandingan Perancangan Gedung SRPMK di Atas Tanah dengan Kategori Tanah Lunak dan Tanah Baik," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 1, p. 1, 2012, doi: 10.12962/j12345678.v10i1.2674.
- [12]. International Atomic Energy Agency, *GSR Part 7 - Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*, vol. 88, no. 2. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. doi: 10.1097/00004032-200502000-00010.
- [13]. M. Mariana, T. R. Sahroni, and T. Gustiyana, "Fatigue and human errors analysis in petrochemical and oil and gas plant's operation," *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, vol. 2018-March, no. 2014, pp. 2611–2619, 2018.