

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Berdasarkan Berita Resmi Statistik No. 7/01/Th. XXIV, pada 21 Januari 2021 penduduk Indonesia berkisar 270,20 juta jiwa, bertambah 32,56 juta jiwa dibandingkan SP2010 dengan laju pertumbuhan penduduk pertahun sebesar 1,25%, melambat dibandingkan periode 2000-2010 yang sebesar 1,49% dengan Pulau Jawa yang memiliki konsentrasi penduduk terbesar yaitu 56,10% dimana, pulau Jawa merupakan pulau yang hanya memiliki luas wilayah sebesar 7% wilayah Indonesia (bps.go.id).

Dengan meningkatnya jumlah penduduk dari tahun ke tahun, maka akan terjadi peningkatan jumlah pemakaian energi listrik. Sebab, dewasa ini hampir setiap rumah memiliki barang-barang elektronik, seperti handphone, mesin cuci, televisi, laptop atau komputer, serta setrika dan peralatan listrik lainnya. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan data statistika Indonesia yang menyatakan bahwa Jumlah Pelanggan per Jenis Pelanggan rumah tangga, menggunakan listrik mencapai hingga 91,91% di seluruh Indonesia (bps.go.id).

Pada September 2020, perusahaan listrik negara Indonesia, PLN, memperkirakan penggunaan batu bara untuk pembangkitan listrik mengalami sedikit penurunan (-1,4%) untuk tahun tersebut, sehingga pembangkitan listrik tenaga batu bara tidak berubah sejak 2019. Kebutuhan listrik Indonesia rata-rata tumbuh sebesar 7% per tahun, dari 221 TWh pada 2015, menjadi 283 TWh pada 2019. Kenaikan (62 TWh) ini menuntut penambahan pembangkitan listrik tenaga batu bara sebesar 51 TWh, karena kenaikan produksi listrik bersih (23 TWh) tidak dapat mengimbangi kenaik-

an kebutuhan listrik. Selain itu, kebutuhan listrik diperkirakan akan terus naik pesat di Indonesia, mengingat kebutuhan listrik per kapita di Indonesia masih termasuk yang terendah di antara negara-negara G20 dan jauh lebih rendah (-230%) daripada rata-rata dunia. Maka dari itu, energi alternatif sangat dibutuhkan saat ini. Energi nuklir menjadi salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk jangka panjang (pln.co.id).

Indonesia memang sudah memiliki teknologi nuklir, tetapi bukan reaktor daya melainkan reaktor riset salah satunya adalah reaktor TRIGA 2000 yang terdapat di BATAN Bandung. Kurangnya perkembangan reaktor daya di Indonesia disebabkan karena beberapa faktor, salah satunya adalah tingkat pemahaman masyarakat yang menganggap bahwa nuklir adalah sesuatu hal yang membahayakan bahkan sampai dapat menimbulkan kematian. Namun, jika informasi mengenai nuklir dapat tersampaikan dengan baik dan benar, maka akan dipastikan tidak ada keraguan untuk memulai mengoperasikan energi nuklir sebagai energi alternatif. Sebab, energi nuklir mampu mengurangi CO₂, sehingga baik untuk lingkungan jika dibandingkan batu bara dan minyak, yang mana bahan bakar fosil produk sampingannya akan dipompa ke udara dan dapat menyebabkan penyakit yang berhubungan dengan pernafasan.

Uranium, menjadi salah satu bahan bakar familiar untuk orang banyak. Namun, ternyata terdapat unsur radioaktif yang dapat dikatakan lebih baik daripada Uranium, yaitu Thorium. Bahan galian Thorium yang melimpah di Indonesia, dapat dimanfaatkan maksimal sehingga mengurangi ketergantungan bahan bakar. Jika dibandingkan dengan uranium, persediaan Thorium terdapat tiga hingga empat kali lebih banyak dari uranium. Selain itu, thorium mampu menghasilkan energi yang lebih besar. Energi yang dihasilkan dari satu ton Thorium akan setara dengan energi yang dihasilkan dari 200 ton Uranium dan 3,50 juta ton batu bara. Thorium juga menghasilkan limbah yang jauh lebih sedikit dari uranium bahkan dapat dikatakan ratusan hingga ribuan kali lebih sedikit dari limbah yang dihasilkan uranium.

Untuk mengatasi permasalahan pemenuhan kebutuhan energi di dunia di masa datang, peran PLTN dipandang sebagai pilihan energi alternatif, PLTN mempunyai keunggulan dibandingkan dengan pembangkit energi lainnya yang ada pada saat ini. Data terkini menurut International Atomic Energy Association (IAEA) terdapat sejumlah 437 unit reaktor daya (PLTN) yang beroperasi di 30 negara dengan total ka-

pasitas terpasang sebesar 373.209 MWe. Dewasa ini, penelitian dan pengembangan terhadap reaktor terus dilakukan untuk mendapatkan reaktor generasi maju yang inovatif dengan keselamatan tinggi, menggantikan generasi yang ada sekarang ini (Gen III/ Gen III+). Hingga saat ini, perkembangan teknologi PLTN tersebut telah mencapai tahap penelitian dan pengembangan PLTN Generasi IV (sistem reaktor maju) yang merupakan pengembangan inovatif dari PLTN generasi sebelumnya.

Kecelakaan nuklir yang terjadi di Chernobyl pada tahun 1986 disebabkan karena kegagalan yang terjadi dalam komputer yang dilakukan pemrograman ulang pada operator yang mengakibatkan daya mengalami penurunan drastis dan reaktor dipadamkan tanpa perhitungan sehingga meningkatnya populasi dari ^{135}Xe dan terjadi ledakan. Kecelakaan reaktor nuklir kembali terjadi di Fukushima pada 2011, kecelakaan ini disebabkan oleh gejala alam, dimana terjadi gempa tektonik yang mengakibatkan datangnya tsunami. Berdasarkan kecelakaan nuklir yang telah terjadi diatas, perlu adanya sistem reaktor yang mampu meminimalisir terjadinya kecelakaan nuklir tersebut. Reaktor garam cair, merupakan jenis reaktor generasi ke IV memiliki beberapa aspek keselamatan diantaranya penggunaan siklus Thorium dengan kemampuan pembiakan (yang berdampak pada sustainabilitas yang tinggi) dan pembakaran Aktinida, serta tidak memerlukan fabrikasi bahan bakar (karena penggunaan garam lebur). Pada aspek keselamatan, koefisien reaktivitas negatif pada void dan umpan balik bahan bakar menawarkan keselamatan yang lebih baik dibanding jenis reaktor lain. Termasuk penggunaan bahan bakar cair yang menghindarkan terjadinya steam explosion. Untuk desain PCMSR, ditawarkan pula *Full-Passive Safety System* dengan desainnya (Dwijayanto, n.d.).

Penelitian mengenai Reaktor Garam Cair atau MSR telah banyak dilakukan, seperti penelitian oleh Marisa Variastuti mengenai Studi Neutronik reaktor garam cair modular Fuji berbahan bakar U-Th dan Pu-Th yang menyimpulkan bahwa Modular Fuji memiliki tiga daerah teras dengan fraksi bahan bakar berbeda setiap daerah terasnya. Teras 1 memiliki fraksi bahan bakar paling besar sehingga membutuhkan konsentrasi bahan fisil lebih banyak untuk memberikan kondisi kritis pada reaktor ((Variastuti, 2021), serta penelitian mengenai ThorCon MSR oleh Lumbanraja dkk mengenai Reviu Implementasi Thorcon Molten Salt Reactor di Indonesia yang menyimpulkan bahwa ThorCon layak untuk dipertimbangkan diimplementasikan di Indonesia karena aspek keselamatan tinggi, penyiapan tapak lebih mudah, volume bahan konstruksi lebih sedikit, waktu konstruksi lebih pendek (Lumbanraja & Li-

un, 2018), kemudian penelitian yang dilakukan oleh Mustari dkk mengenai Studi Pengaruh Perbedaan ketebalan Freeze-Valve Di MSR (Molen Salt Reactor) Dalam Pengendalian Kecelakaan mendapatkan hasil bahwa jika keadaan kecelakaan didesain untuk fluida bersuhu 80 celcius, maka dibutuhkan sebuah *freeze-valve* dengan ketebalan 7 mm untuk membuka aliran fluida menuju subcritical tank dalam waktu 10 menit setelah keadaan kecelakaan dimulai (Mustari *et al.*, 2021). Serta penelitian mengenai desain konsep reaktor modullar kecil dalam judul *A Small Mobile Molten Salt Reactor (SM-MSR) For Underdeveloped Countries and Remote Locations* yang dilakukan oleh William Casino dkk dan modifikasi desain reaktor yang sejenis dalam judul Performa Neutronik Bahan Bakar LiF-BeF₂-ThF₄-UF₄. Pada *Small Mobile-Molten Salt Reactor* oleh Rokhman dkk yang menunjukkan syarat keselamatan reaktor yang didesain berdasarkan parameter neutronik dalam faktor multifikasi dan konversi rasio.

Maka, pada penelitian kali ini akan dilakukan studi desain reaktor garam cair menggunakan small modular menjadi salah satu solusi untuk penyebaran energi listrik ke daerah terpencil di Indonesia, yang memiliki tujuan untuk meningkatkan faktor keselamatan dengan menggunakan bahan bakar thorium yang kandungannya melimpah sehingga mampu mengurangi limbah hasil penggunaannya serta mampu dalam penggunaan jangka panjang dengan variasi campuran uranium dan plutonium. Desain reaktor akan dilakukan menggunakan SRAC *Standard Reactor Analysis Code* yang akan diperhitungkan faktor keselamatannya berdasarkan studi neutronik dengan empat jenis bahan bakar, yaitu campuran thorium dan uranium, grade plutonium-thorium, super grade plutonium-thorium, weapon grade plutonium-thorium. Pada setiap jenis bahan bakar tersebut akan dicari komposisi setiap nuklida yang mampu mempertahankan tingkat kritis reaktor saat beroperasi 10 tahun.

1.2 Kerangka Ruang Lingkup

1.2.1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini melakukan studi pada reaktor garam cair dengan menggunakan beberapa jenis variasi bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan pada reaktor ini adalah thorium yang mana kandungannya melimpah di alam dengan variasi campuran uranium dan plutonium.

1.2.2 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada studi neutronik yang memiliki tujuan agar mengetahui kondisi kritis dari reaktor berdasarkan parameter faktor multiplikasi efektif serta konversi rasio yang didapatkan.

1.2.3 Rumusan Masalah

Penelitian ini berupa simulasi yang dilakukan pada SRAC dengan mendesain reaktor garam cair menggunakan empat jenis bahan bakar yaitu campuran thorium dan uranium, grade plutonium-thorium, super grade plutonium-thorium, weapon grade plutonium-thorium.

1.2.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian pada tugas akhir ini yaitu mendesain reaktor garam cair pada SRAC menggunakan bahan bakar thorium dengan campuran uranium dan plutonium yang komposisinya divariasikan hingga diperoleh komposisi untuk mempertahankan kondisi reaktor selama 10 tahun beroperasi. Serta dilakukan studi neutronik yang mencakup parameter faktor multiplikasi efektif dan konversi rasio.

1.2.5 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan tiga metode pengumpulan data yaitu:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang mencakup topik mengenai penelitian serupa dengan penelitian yang akan dilakukan. Hasil dari publikasi peneliti seperti jurnal kemudian buku dan skripsi yang memiliki kaitan dengan penelitian yang akan dilakukan dan beberapa penelitian yang sebelumnya telah dilakukan.

2. Eksperimen

Eksperimen yang berupa simulasi untuk desain reaktor yang memiliki faktor keselamatan yang baik dilakukan pada software SRAC untuk memudahkan dalam desain reaktor kemudian dilakukan studi neutronik dengan empat jenis bahan bakar.

3. Observasi

Pengambilan data dilakukan pada metode ini. Reaktor garam cair dengan bahan bakar thorium dengan variasi campuran uranium dan plutonium yang telah didesain dijalankan kemudian dihasilkan nilai faktor multiplikasi efektif dan konversi rasio. Maka, setelah itu dilakukan analisis mengenai studi neutronik yang telah dilakukan.

1.3 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penelitian tugas akhir ini yang diuraikan sebagai berikut.

1. BAB 1

Pendahuluan. Latar belakang mengenai kondisi saat ini yang mendukung dilakukannya studi dengan menggunakan bahan bakar thorium yang memvariasikan campuran uranium dan plutonium. Kemudian disimulasikan pada software SRAC, rumusan masalah dari penelitian, tujuan dilakukannya penelitian, metode untuk mengumpulkan data dari penelitian yang telah dilakukan.

2. BAB 2

Dasar teori. Teori dasar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan dideskripsikan pada bab ini.

3. BAB 3

Metode Penelitian. Pada bab ini akan dideskripsikan mengenai waktu dan tempat dilakukannya penelitian, alat dan bahan yang dibutuhkan serta penjelasan dari proses penelitian yang dilakukan.

4. BAB 4

Pembahasan. Data yang telah diperoleh dari hasil penelitian mengenai desain reaktor yang sesuai dengan kriteria reaktor yang baik dari segi faktor keselamatannya dan dilakukan studi neutronik reaktor garam cair dengan modulasi yang kecil pada SRAC dari data yang diperoleh.

5. BAB 5 Penutup. Pada bab ini diberikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta beberapa saran untuk pengembangan dari penelitian ini.