

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam Perka Bapeten No. 3 Tahun 2011 tentang ketentuan keselamatan desain reaktor daya disebutkan bahwa sebelum reaktor daya dibangun perlu sebuah rancangan desain keselamatan reaktor untuk menjamin keamanan dalam proses *shutdown*, pembuangan panas sisa bahan bakar, untuk membatasi dampak kejadian operasi dan kondisi kecelakaan dasar. Keselamatan reaktor merupakan parameter utama dalam merancang desain reaktor daya. Salah satu parameter keselamatan yang penting untuk dibahas adalah kemampuan mengendalikan populasi neutron sepanjang reaktor beroperasi. Parameter yang dilihat adalah reaktivitas lebih (*core excess*) dan *shutdown margin* (SDM).

Reaktor nuklir memiliki beberapa komponen penyusun salah satunya batang kendali. Batang kendali berperan untuk menjamin *shutdown* reaktor sebagai standar desain keselamatan dari suatu reaktor. Batang kendali terbuat dari bahan penyerap neutron, yang berfungsi untuk mengendalikan reaksi berantai. Terkendalnya reaksi berantai dalam reaktor menyebabkan reaktor dapat beroperasi pada tingkat daya yang diinginkan serta berperan dalam proses *shutdown* (Waluyo, 2016).

Small Modular Reactor (SMR) penghasil listrik telah banyak dikembangkan, salah satunya adalah NuScale jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*, PWR). NuScale adalah reaktor integral yang didesain oleh *NuScale Power Inc*, Amerika Serikat yang telah selesai didesain (Reyes, 2010). Satu modul NuScale disebut dengan *NuScale Power Module* (NPM) menghasilkan daya

keluaran sebesar 45 MWe/modul dengan 12 konfigurasi modul. NPM dengan konsep sistem pasokan uap nuklir (*Nuclear Steam Supply System*, NSSS) terdiri dari teras reaktor, *pressurizer*, dan dua generator uap yang terintegrasi di dalam bejana tekan reaktor dan ditempatkan dalam bejana penahan baja kompak (Zeliang dkk, 2020). Konfigurasi teras NPM terdiri dari 37 *fuel assemblies* (FA) dan mengadopsi standar 17×17 dengan batang bahan bakar ^{235}U yang diperkaya dibawah 4,95%. Kontrol reaktivitas dicapai dengan cara mengkategorikan 16 batang kendali (*Control Rod Assemblies*, CRA) yang terbagi *regulating bank* (RB) untuk pengaturan daya dibawah operasi pembangkit normal, dan *shutdown bank* (SB) yang digunakan untuk pengaturan daya selama kejadian *shutdown* dan *scram*. Setiap CRA berisi 24 CR *pin* yang mengandung 2 neutron penyerap, perak-indium-kadmium (AIC) di bagian bawah batang dengan panjang 40 cm, dan boron karbida (B_4C) di bagian atas batang dengan panjang 160 cm (NuScale Power, LCC, 2012).

Salah satu penelitian tentang batang kendali pernah dilakukan oleh Guo dkk. (2021). Penelitian ini menghasilkan perhitungan dampak operasi kompensasi batang kendali pada karakteristik neutronik teras pada *Small Modular Liquid-Metal Fast Reactor* (SMFR). Perhitungan dilakukan dengan cara membuat simulasi kompensasi batang kendali SMFR menggunakan kode OpenMC. Hasil penelitian ini menunjukkan pembakaran bahan bakar berdampak pada nilai batang kendali.

Haugh dan Mohamed (2012) menggunakan desain SMR NuScale untuk membandingkan reaktivitas, *fuel temperature coefficient* (FTC), dan *moderator*

temperature coefficient (MTC). Perbandingan dilakukan menggunakan CASMO5/SIMULATE5 dan MCNP5 pada kondisi *Hot Zero Power* (HZP) untuk mendapatkan desain konseptual teras. Hasil dari perbandingan kedua kode tersebut diperoleh nilai yang tidak jauh berbeda antara COSMO5/SIMULATE5 dan MCNP5 untuk desain teras awal konseptual teras.

Lauranto dkk. (2019) melakukan penelitian mengenai evaluasi desain batang kendali untuk SMR. Desain batang kendali untuk SMR ditinjau kemudian dievaluasi berdasarkan kombinasi data lisensi NuScale dan *benchmark* BEAVRS. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan program KRAKEN, yang merupakan sebuah kode komputasi untuk analisis nuklir yang dikembangkan di VTT *Technical Research Center of Finland Ltd.* Hasil dari penelitian ini mendapatkan nilai reaktivitas dari batang kendali dari *regulating bank* dan *shutdown bank* serta nilai *shutdown margin* tidak jauh berbeda dengan data lisensi NuScale dan *benchmark* BEAVRS.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini melihat pengaruh dari penarikan CRA *bank* NuScale dengan mengubah posisi CRA secara aksial. Simulasi perhitungan neutronik teras menggunakan kode program OpenMC. Program OpenMC dikembangkan oleh *Computational Physics Reactor* (CRPG) di *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) sejak tahun 2011. OpenMC merupakan kode perhitungan *open source* yang mempunyai keunggulan dalam akses untuk memodifikasi maupun mengubah simulasi desain teras sesuai dengan kebutuhan peneliti, tanpa harus memiliki akses khusus dengan instansi terkait (Romano dan Forget, 2012). Simulasi ini menggunakan sumber data nuklir

ENDF/B-VII.1 sebagai sumber data nuklida dan *General Design Criterion* (GDC) referensi utama teras NuScale.

Simulasi penarikan CRA pada OpenMC diilustrasikan dengan skenario perubahan posisi CRA sederhana. Posisi CRA terangkat penuh (*fully-up*), CRA terbenam setengah (*half fully-down*) dan CRA terbenam sepenuhnya (*fully-down*). Variasi perubahan posisi CRA guna untuk melihat perubahan reaktivitas batang kendali secara aksial untuk masing-masing CRA. Setelah membuat simulasi, dilanjutkan dengan menganalisis nilai reaktivitas dari CRA dan nilai SDM guna dalam memadamkan reaktor. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk analisis pengaruh batang kendali dalam sebuah reaktor dengan memanfaatkan OpenMC. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif pada proses pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir khususnya untuk uji keselamatan yang dipengaruhi reaktivitas batang kendali.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penarikan CRA berdasarkan tiga skenario kondisi CRA yaitu terangkat penuh (*fully-up*), terbenam setengah (*half fully-down*) dan terbenam sepenuhnya (*fully-down*) pada reaktor NuScale. Parameter yang dicari adalah reaktivitas dan SDM dari pengaruh kondisi CRA melalui hubungannya dengan nilai k_{eff} yang diperoleh.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk simulasi batang kendali SMR NuScale dan berkontribusi dalam membuat desain reaktor yang efektif sebagai tahap awal dalam uji keselamatan reaktor.

1.3 Batasan Penelitian

Pemodelan reaktor berpedoman pada GDC dari NuScale. Konfigurasi teras NuScale terdiri 37 *assemblies* yang 16 diantaranya CRA yaitu *regulating bank* dan *shutdown bank*. FA 17×17 terdiri dari *fuel pin* dengan pengayaan UO_2 4,05% dan 2,6%, dan *instrumentation guide tube*. CRA terdiri dari *fuel pin* dengan pengayaan UO_2 4,05% dan 4,55%, CR *pin* dengan campuran material AIC dan B_4C , dan *instrumentation guide tube*. Model tersebut akan disimulasikan menggunakan kode OpenMC dengan membuat *input* (*materials.xml*; *geometri.xml*; *settings.xml*, *tallies.xml*), simulasi tiga kondisi CRA terangkat penuh (*fully-up*), CRA terbenam setengah (*half fully-down*) dan CRA terbenam sepenuhnya (*fully-down*).

