

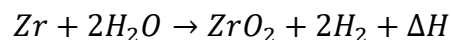
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam upaya transisi energi nasional menuju sumber daya yang rendah karbon, pemanfaatan energi nuklir menjadi sorotan strategis. *Light Water Reactor* (LWR) telah menjadi pilihan teknologi pembangkit listrik tenaga nuklir global, dengan lebih dari 300 unit aktif dari total 415 reaktor komersial di seluruh dunia (PRIS, 2024). LWR merupakan pilihan paling realistis untuk reaktor daya pertama di Indonesia karena kematangan teknologi dan performa keselamatan yang telah terbukti selama lebih dari lima dekade (Gurruchaga et al., 2009; Rebak, 2020).

Namun, kecelakaan Fukushima Daiichi pada 2011 menandai titik kritis dalam sejarah operasional PLTN. Gempa bumi dan tsunami memicu kehilangan daya total pada sistem pendingin sehingga menyebabkan suhu di dalam teras reaktor melonjak di atas 1473 K. Dalam kondisi ini, reaksi eksotermik antara *cladding zirconium alloy* dan uap air menghasilkan gas hidrogen seperti pada reaksi berikut:



Gas ini kemudian meledak dan merusak bangunan reaktor yang disertai dengan pelepasan radioaktif ke lingkungan (Ukai et al., 2023). Peristiwa ini menunjukkan bahwa sistem bahan bakar konvensional masih rentan terhadap kegagalan keselamatan pada skenario kecelakaan ekstrem. Sebagai respons, dikembangkanlah konsep *Accident Tolerant Fuel* (ATF), yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan bahan bakar terhadap suhu tinggi, tekanan, dan reaktivitas kimia dalam kondisi *beyond design basis* (USNRC, 2020).

Salah satu kandidat material unggulan untuk *cladding* ATF adalah paduan FeCrAl yang menunjukkan ketahanan oksidasi tinggi, kestabilan

mikrostruktur, dan kompatibilitas termal yang lebih baik dibandingkan dengan *zirconium alloy* (Narukawa et al., 2023).

Kinerja FeCrAl semakin ditingkatkan dengan teknologi *Oxide Dispersion Strengthened* (ODS), di mana partikel nano oksida seperti Y_2O_3 tersebar merata untuk memperkuat matriks logam dan menahan deformasi akibat iradiasi serta *creep* pada suhu tinggi (Dryepondt et al., 2018). Kombinasi FeCrAl dan ODS telah terbukti secara eksperimental sebagai kandidat *cladding* yang menjanjikan dalam program ATF jangka menengah (Massey et al., 2020; X. Wang & Shen, 2023).

Di sisi lain, penambahan elemen minor seperti silikon terbukti dapat memperbaiki kekuatan mekanik, menghaluskan ukuran butir, serta meningkatkan retensi produk fisi seperti cesium melalui pembentukan silisida stabil (Ngarayana, 2022; Sand et al., 2021). Meski demikian, efek penambahan Si dalam paduan FeCrAl-ODS khususnya pada konsentrasi rendah (0–4 wt.%) dengan teknik *powder metallurgy* belum banyak dikaji secara eksperimental.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi silikon terhadap evolusi mikrostruktur dan sifat mekanik paduan FeCrAl ODS. Hasil dari studi ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan material *cladding* ATF yang lebih andal dan aman, serta mendukung kesiapan teknologi nuklir nasional dalam menghadapi tantangan keamanan dan efisiensi energi masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi silikon terhadap evolusi mikrostruktur paduan FeCrAl *Oxide Dispersion Strengthened* (ODS) yang disintesis melalui metode *powder metallurgy*?
- b. Bagaimana karakter perubahan ukuran butir, ukuran kristalit, dan distribusi unsur akibat penambahan silikon dalam paduan FeCrAl ODS?

- c. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi silikon terhadap densitas nyata paduan FeCrAl ODS?
- d. Bagaimana perubahan mikrostruktur akibat penambahan silikon berkontribusi terhadap peningkatan performa *Vicker hardness* paduan sebagai kandidat material *cladding* untuk *Light Water Reactor*?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi silikon terhadap evolusi mikrostruktur paduan FeCrAl *Oxide Dispersion Strengthened* (ODS) yang disintesis melalui metode *powder metallurgy*.
- b. Untuk menganalisis karakter perubahan ukuran butir, ukuran kristalit, dan distribusi unsur sebagai akibat dari penambahan silikon dalam paduan FeCrAl ODS.
- c. Untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi silikon terhadap densitas nyata dari paduan FeCrAl ODS.
- d. Untuk mengetahui kontribusi perubahan mikrostruktur akibat penambahan silikon terhadap peningkatan performa kekerasan mikro paduan sebagai kandidat material *cladding* untuk *Light Water Reactor*.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat memberikan pengetahuan dan pemahaman tentang fisika nuklir dan fisika zat padat dalam pengembangan reaktor nuklir. Studi yang dilakukan ini juga akan memberikan kontribusi pada kajian mengenai material nuklir khususnya ATF yang terus berkembang dalam meningkatkan performa reaktor nuklir. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi akademis untuk disiplin ilmu dalam penelitian nuklir.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi berupa kajian ilmiah dalam pengembangan teknologi material yang dapat meningkatkan keamanan reaktor nuklir. Serta memberikan nilai tambah yang berguna dalam peningkatan keselamatan, daya tahan dan efisiensi operasional pada reaktor nuklir. Penelitian ini juga diharapkan dapat menghasilkan hak paten terkait material *cladding* yang akan membantu mengoptimalkan biaya saat reaktor pertama di Indonesia dibangun.

