

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam sistem keselamatan reaktor nuklir modern, teknologi sistem pendinginan pasif telah mengalami perkembangan yang pesat dan direncanakan dapat diterapkan pada reaktor nuklir Generasi IV untuk meningkatkan keselamatan melalui peningkatan keandalan sistem keselamatan (International Atomic Energy Agency, 2012). Keamanan dari sebuah reaktor nuklir atau PLTN bergantung pada kemampuan untuk mendinginkan inti reaktor secara efektif untuk mencegah *overheating* dan potensi kecelakaan seperti *station blackout* (SBO) pada kecelakaan di reaktor nuklir Fukushima Daichii tahun 2011. Sistem pendinginan pasif berbasis sirkulasi alami bekerja tanpa memerlukan daya eksternal, di mana fluida pendingin bergerak akibat perbedaan massa jenis yang disebabkan oleh pemanasan dari teras reaktor. Efektivitas dan keandalan sistem keselamatan kritis ini sangat bergantung pada sifat-sifat termofisik fluida pendingin, seperti densitas, kapasitas panas spesifik, konduktivitas termal dan viskositas (Sardar dkk., 2024).

Konduktivitas termal merupakan salah satu parameter kunci yang merepresentasikan kemampuan suatu fluida untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal memengaruhi efisiensi dan keandalan pada sistem siklus daya. Konduktivitas termal fluida yang akurat penting untuk merancang dan mengembangkan teknologi sistem pendinginan. Kesalahan dalam akurasi data dapat menyebabkan perhitungan yang tidak tepat atau deviasi yang tinggi pada performa pendinginan yang berpotensi membahayakan sistem. Data konduktivitas termal fluida yang akurat dapat diperoleh melalui pengukuran secara eksperimental (Zhao dkk., 2024).

Pada penggunaan fluida sebagai sistem pendinginan, fluida konvensional seperti air, etilen glikol, dan minyak memiliki keterbatasan dalam hal konduktivitas termal yang rendah. Salah satu inovasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan nanopartikel tersuspensi ke dalam fluida dasar, yang disebut dengan

nanofluida. Nanofluida ini menunjukkan peningkatan sifat perpindahan panas seperti konduktivitas termal yang lebih tinggi (Gupta dkk., 2014). Ditemukan bahwa dengan metode dispersi ultrasonik, konduktivitas termal fluida dasar air akan meningkat sebesar masing-masing 30% dan 10% dengan penambahan 4,0 vol.% Al_2O_3 dan TiO_2 (Guo dkk., 2018).

Beberapa metode pengukuran konduktivitas termal telah dikembangkan oleh para peneliti, salah satunya adalah metode *transient hot-wire*. Metode *transient hot-wire* (THW) merupakan teknik transien yang mengukur kenaikan suhu di sekitar kawat panas yang diletakkan dalam sampel, dengan asumsi bahwa kawat panas sangat panjang dan tipis, dan panas mengalir ke segala arah secara seragam dalam sampel yang homogen dan isotropik (Zhao dkk., 2016). Metode THW merupakan metode yang cocok untuk digunakan dalam mengukur konduktivitas termal, terlebih lagi untuk fluida karena memiliki keunggulan utama pada durasi pengukuran yang singkat dan akurasi yang tinggi. Durasi pengukuran yang singkat ini membuat kesalahan pengukuran akibat efek konveksi dapat diminimalisir, sehingga meningkatkan akurasi pengukuran secara konduksi (Prado dkk., 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wise (2022), metode THW digunakan untuk mengukur konduktivitas termal empat fluida standar, yaitu udara, isopropil alkohol (IPA), etanol, dan air deionisasi pada suhu 22°C . Nilai yang dihasilkan adalah pada rentang 0,026 W/m.K hingga 0,73 W/m.K dengan kesalahan eksperimental sebesar 0,117% hingga 4,772% jika dibandingkan dengan nilai referensi. Sementara pada penelitian Guo dkk. (2018), nanofluida SiO_2 yang diukur dengan menggunakan metode THW menghasilkan kesalahan pengukuran sebesar 1,2 – 1,3%. Nanofluida SiO_2 dengan fluida dasar air deionisasi dan SiO_2 dengan fluida dasar etilen glikol keduanya menunjukkan konduktivitas termal yang lebih tinggi dengan peningkatan 1,0 – 9,6%. Pengukuran dilakukan dengan variasi penambahan 0,5 vol.% dan 1,0 vol.% SiO_2 pada fluida dasarnya. Kesalahan utama pada pengukuran disebabkan oleh daya pemanasan yang tidak konstan dan konveksi alami.

Permasalahan utama pada alat ukur konduktivitas termal yang telah komersial adalah alat tersebut umumnya bersifat stasioner atau tidak portabel seperti hanya dapat digunakan di laboratorium serta mahal dari segi ekonomi. Terlebih lagi jika ingin diintegrasikan dengan sebuah sistem, seperti manajemen termal pada sistem pendinginan pasif reaktor nuklir Generasi IV yang akan diterapkan nantinya. Maka dari itu, diperlukan alat ukur konduktivitas termal yang memiliki kemudahan dalam akses penggunaannya serta memiliki potensi untuk diaplikasikan pada sebuah sistem yang membutuhkan data termal propertis secara *real time*.

Penelitian ini befokus pada perancangan alat ukur konduktivitas termal berbasis metode *transient hot-wire* untuk nanofluida. Metode ini dipilih karena memiliki akurasi tinggi untuk jenis sampel cairan, serta waktu pengukurannya yang singkat dapat menghilangkan kesalahan akibat timbulnya konveksi. Ruang lingkup penelitian difokuskan pada beberapa batasan operasional, yaitu pengujian sampel fluida dilakukan dalam kondisi statis tanpa aliran, temperatur ruangan, dan validasi data dievaluasi berdasarkan nilai referensi yang diperoleh dari pengujian menggunakan alat komersial yang umum digunakan. Penelitian ini diharapkan dapat mengukur nilai konduktivitas termal dengan tingkat akurasi yang tinggi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Merancang alat ukur konduktivitas termal berbasis *transient hot-wire*.
2. Melakukan pengujian konduktivitas termal pada nanofluida menggunakan alat ukur yang dirancang dan memvalidasi data hasil uji dengan alat ukur komersial.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu memberikan kontribusi untuk mengembangkan alat ukur konduktivitas termal untuk nanofluida dan jenis cairan lain yang portabel dengan keakuratan yang tinggi serta terjangkau dari segi ekonomi. Selain itu, pengadaan alat ukur konduktivitas termal juga dapat memperkaya basis data termofisika pada fluida pendingin.