

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reaktor nuklir merupakan salah satu sumber energi utama di dunia yang memanfaatkan bahan bakar nuklir untuk menghasilkan panas melalui reaksi fisi. Panas ini digunakan untuk memanaskan fluida pendingin dalam sistem transfer panas, yang bertugas membawa panas keluar dari inti reaktor (Kurniasari *et al.* 2024). Panas tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui turbin uap atau dibuang ke lingkungan. Salah satu fungsi krusial dari sistem transfer panas ini adalah menjaga stabilitas suhu di dalam reaktor. Pengaturan suhu yang efisien menjadi sangat penting untuk keselamatan operasional reaktor nuklir, yang menuntut penggunaan teknologi canggih berbasis pemrosesan data (Tsolkas *et al.* 2023).

Salah satu contoh terburuk dari risiko ini adalah insiden *Fukushima Daiichi* di Jepang pada tahun 2011. Tsunami besar menyebabkan kegagalan sistem pendingin, yang kemudian mengakibatkan *overheating*, ledakan hidrogen, dan akhirnya melelehnya inti reaktor. Teknologi informatika, khususnya kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin, telah menjadi solusi dalam mengatasi tantangan tersebut. Pengembangan model prediktif berbasis pembelajaran mesin kini diperlukan untuk memantau suhu dan memberikan prediksi yang akurat untuk mencegah *overheating* (Riza dan Juarsa 2022).

Dengan semakin berkembangnya teknologi di bidang informatika, khususnya dalam pemrosesan data dan kecerdasan buatan, berbagai metode prediktif telah diimplementasikan untuk memodelkan suhu dalam sistem transfer panas reaktor nuklir. Misalnya, Shi *et al.* (2023), menggabungkan model *Convolutional Neural Network* (CNN), *Long-Short Term Memory* (LSTM), dan *zLSTM* untuk memprediksi suhu masuk dan suhu keluar pada pembangkit listrik tenaga nuklir. Model ini mencapai akurasi prediksi yang tinggi, dengan *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0.003017 dan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0.031020. Dalam ranah informatika, penerapan model pembelajaran mendalam seperti ini menunjukkan bahwa teknologi prediktif dapat memberikan solusi yang tepat dalam

skenario industri berisiko tinggi. Selain itu, Akay dan Das (2021) menggunakan pendekatan berbeda dengan menerapkan *Support Vector Machines* (SVM), *Decision Tree*, dan *Multi-Layer Perceptron* (MLP) untuk memprediksi suhu masuk dan keluar reaktor. Hasilnya menunjukkan kemampuan prediksi yang baik dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,223.

Meskipun model pembelajaran mendalam tersebut telah terbukti efektif, salah satu tantangan dalam dunia informatika adalah menemukan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Pada sistem industri, solusi yang lebih sederhana namun tetap akurat menjadi sangat penting untuk mendukung efisiensi operasional dan pengambilan keputusan yang cepat (El-Sefy *et al.* 2021). Oleh karena itu, pemilihan model yang tepat menjadi penting untuk memastikan penerapan yang optimal di industri.

Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan salah satu alternatif yang lebih sederhana sehingga mudah diterapkan dalam industri. JST menawarkan solusi dengan arsitektur komputasi yang lebih ringan, namun tetap mampu memberikan hasil yang memadai dibandingkan dengan model pembelajaran mendalam yang lebih kompleks seperti CNN atau LSTM (Patil *et al.*, 2021). Penelitian sebelumnya menggunakan JST untuk memprediksi panjang siklus bahan bakar dan keefektifan neutron pada reaktor nuklir dengan hasil yang sangat baik, yaitu MSE sebesar 0,0043 dan MAE sebesar 0,0024 (Palmi *et al.*, 2023). JST menjadi contoh bagaimana teknik informatika mampu memberikan solusi yang ringan namun tetap presisi di industri yang membutuhkan efisiensi. Meskipun demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi penerapan JST dalam memprediksi suhu keluar pada sistem transfer panas reaktor nuklir (Bhattacharyya *et al.*, 2021).

Sebagai lembaga riset nasional yang memiliki fasilitas simulasi reaktor termal, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) memiliki peran penting dalam pengembangan dan pemantauan sistem keselamatan reaktor di Indonesia. Berdasarkan wawancara dengan pihak BATAN, diketahui bahwa hingga saat ini sistem monitoring suhu reaktor di Indonesia, khususnya di fasilitas simulasi termal BATAN, masih mengandalkan metode konvensional berbasis sensor dan alarm ambang batas. Belum ada integrasi teknologi *machine learning* secara langsung ke

dalam sistem tersebut. Selain itu, pihak BATAN menekankan bahwa apabila teknologi ini akan dikembangkan, maka model yang digunakan harus bersifat sederhana, efisien, dan tidak membebani sistem secara komputasi, mengingat adanya keterbatasan dalam hal waktu, biaya, serta sumber daya yang tersedia.

Penelitian ini akan mengukur efektivitas Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur yang lebih sederhana dalam memprediksi dinamika suhu keluar reaktor nuklir, berdasarkan kesesuaian hasil prediksi JST dengan nilai aktual. Diharapkan model ini dapat mencapai akurasi prediksi yang serupa dengan model kompleks tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan metode prediksi yang efisien, serta memperkaya literatur mengenai pemodelan suhu dalam sistem industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah yang perlu dipecahkan, yaitu:

1. Bagaimana merancang model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur sederhana untuk memprediksi dinamika suhu keluar pada sistem transfer panas reaktor nuklir?
2. Bagaimana mengetahui efektivitas model Jaringan Saraf Tiruan (JST) melalui perbandingan antara nilai prediksi dan nilai aktual pada sistem transfer panas reaktor nuklir?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan terarah, maka perlu ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada perancangan, optimasi, dan evaluasi model JST untuk prediksi suhu keluar dalam sistem transfer panas reaktor nuklir.
2. Dataset yang digunakan merupakan data sekunder dari Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).
3. Jumlah dataset terdiri dari 11.002 entri dan data bertipe numerik.

4. Variabel input yang digunakan adalah suhu masuk (TH-IN) sedangkan variabel output adalah suhu keluar (TH-OUT).
5. Penelitian ini berfokus pada prediksi suhu keluar (TH-OUT) berdasarkan data suhu masuk menggunakan *time series*. Tidak termasuk prediksi parameter lain seperti tekanan atau distribusi suhu internal yang mungkin juga mempengaruhi sistem termal reaktor.
6. Kinerja model JST akan dievaluasi menggunakan metrik *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE) untuk menilai akurasi prediksi suhu keluar.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diidentifikasi, dapat diketahui tujuan dari penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Merancang model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur yang sederhana untuk memprediksi suhu keluar pada sistem transfer panas reaktor nuklir.
2. Mengetahui efektivitas model Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang dirancang melalui perbandingan hasil prediksi dengan nilai aktual menggunakan berbagai metrik evaluasi.

1.4.2 Manfaat

Manfaat penelitian dalam skripsi ini diharapkan memberikan kontribusi positif, baik secara teoritis maupun praktis sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dalam penerapan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan algoritma pembelajaran backpropagation melalui optimasi arsitektur untuk prediksi suhu pada sistem transfer panas reaktor nuklir. Selain itu, konsep ini dapat digunakan dalam sistem industri berbasis JST, dimana di Indonesia masih minim literturnya terkait prediksi suhu keluaran reaktor nuklir dengan tujuan keselamatan dan efisiensi operasional.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan kontribusi praktis sebagai gambaran awal mengenai potensi penggunaan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dalam memodelkan dinamika suhu keluar pada reaktor. Meskipun hasil yang diperoleh menunjukkan potensi yang baik, masih diperlukan uji kelayakan lanjutan sebelum dapat diterapkan pada sistem nyata, seperti di reaktor BATAN. Meski begitu, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan awal dalam kegiatan simulasi, pelatihan, maupun pengembangan model prediktif di lingkungan akademik. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk eksplorasi metode pemodelan efisien berbasis data historis, serta mendorong riset lanjutan yang lebih aplikatif dan terintegrasi dengan sistem termal nyata.

1.5 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan ini disusun untuk memberikan gambaran umum mengenai isi dari laporan tugas akhir yang berjudul “Prediksi Suhu Keluar pada Sistem Transfer Panas Reaktor Nuklir Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST)”. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang relevan, seperti dasar teori Sistem Transfer Panas Reaktor Nuklir, Jaringan Saraf Tiruan (JST), metode prediksi suhu, serta penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang mencakup pengumpulan data, pra-pemrosesan data, pemodelan JST, pembagian data, pelatihan dan evaluasi model, serta *tools* yang digunakan untuk implementasi pada *dashboard*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi model JST, analisis performa dari beberapa konfigurasi model pada dua skenario pembagian data, serta visualisasi hasil prediksi dan pembahasan hasil evaluasi.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang merujuk pada rumusan masalah dan saran untuk pengembangan.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini memuat daftar referensi yang digunakan dalam penelitian.

LAMPIRAN

Bab ini memberikan informasi tambahan atau pendukung yang serupa dalam konteks penelitian.