

## ABSTRAK

Dalam melakukan analisis keselamatan di reaktor penelitian, pada umumnya masih menggunakan program komputer untuk reaktor daya (*commercial code*), karena belum tersedia program komputer untuk reaktor penelitian yang dianggap kuat. Hasil *benchmark* dengan eksperimen pada reaktor penelitian menunjukkan bahwa program komputer reaktor daya dalam memprediksi temperatur maksimum kelongsong di *hot channel* menunjukkan hasil yang konservatif, dengan rerata perbedaan menunjukkan *overestimate* 20%, dengan *maximum overestimation* 27%.

Perbedaan tersebut disebabkan antara lain karena kompleksitas moda atau regim pendinginan yang terjadi dan/atau karakteristik dari suatu reaktor, penggunaan persamaan matematis dari model dalam program tersebut yang dibangun pada saat mentranslasi fenomena fisik ke bentuk matematis melibatkan penyederhanaan dengan beberapa asumsi dan korelasi empiris yang dianggap masuk akal, dan solusi yang ditawarkan merupakan aproksimasi dengan menggunakan skema numerik, serta *input preparation* dan faktor pengguna apabila model matematis tersebut digunakan dalam program komputer yang besar, seperti halnya program komputer untuk reaktor daya.

Salah satu metode untuk meningkatkan akurasi model matematis pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode hibrida yang menggabungkan *machine learning*, eksperimen dan model matematis. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah metode hibrida berbasis *machine learning* untuk menghasilkan model matematis yang memiliki akurasi tinggi yang digunakan untuk memprediksi temperatur bahan bakar pada kondisi normal maupun variasi aliran pompa primer yang digunakan untuk menyimulasikan kejadian kecelakaan kehilangan aliran pendingin pada reaktor nuklir penelitian. Model hibrid yang terbentuk akan divalidasi langsung dengan reaktor penelitian yang dimodelkan.

Prediksi temperatur bahan bakar yang dihasilkan dengan metode hibrida secara signifikan memberikan nilai yang mendekati dengan nilai temperatur bahan bakar yang diperoleh dari hasil eksperimen. Nilai tersebut menegaskan bahwa model hibrida menghasilkan prediksi yang sangat baik, dan mampu menghindarkan prediksi yang bersifat *over estimate* maupun *under estimate* pada saat menggunakan model matematika. Kinerja dari metode hibrida diukur menggunakan empat *metric* kinerja yaitu MAPE, MAE, MSE, dan RMSE dengan nilai berturut-turut 0.840, 1.280, 3.396, dan 1.842. Nilai MAPE yang diperoleh dari model hibrida berada di bawah 1%, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan prediksi model sangat baik

Kata kunci: Analisis keselamatan, metode hibrid, model matematika, *machine learning*.

## **ABSTRACT**

In conducting safety analysis in research reactors, in general, they still use power reactors' computer programs (commercial code), because there are no computer programs for research reactors that are considered robust. Benchmark results with experiments on research reactors show that the power reactor computer program in predicting the maximum cladding temperature in the hot channel shows conservative results, with the mean difference showing an overestimate of 20%, with a maximum overestimation of 27%.

The difference is caused, among others, due to the complexity of the mode or cooling regime that occurs and/or the characteristics of a reactor, the use of mathematical equations when translating physical phenomena into mathematical form involves simplification with several assumptions and empirical correlations that are considered appropriate reason, and the solution offered is an approximation using a numerical scheme, as well as input preparation and user factors if the mathematical model is used in large computer programs, such as for power reactors' computer programs.

One method to improve the accuracy of the mathematical model in this study is using a hybrid method that combines machine learning, experiments and mathematical models. This study aims to build a machine learning-based hybrid method to produce a mathematical model that has high accuracy which is used to predict fuel temperature under normal conditions and variations in primary pump flow used to simulate the accidental loss of coolant flow in the research nuclear reactor. The hybrid model that is formed will be validated directly with the research reactor being modelled.

Prediction of fuel temperature generated by the hybrid method significantly gives a value close to the value of the fuel temperature obtained from the experimental results. This value confirms that the hybrid model produces very good predictions, and is able to avoid overestimating or underestimating predictions. The performance of the hybrid method is measured using four performance metrics, namely MAPE, MAE, MSE, and RMSE with values of 0.840, 1.280, 3.396, and 1.842, respectively. The MAPE value obtained from the hybrid model is below 1%, which indicates that the predictive ability of the model is very good

**Keywords:** safety analysis, hybrid method, mathematical model, machine learning