

PREDIKSI TINGKAT PENGAYAAN URANIUM MELALUI SENTRIFUS GAS MENGGUNAKAN *RANDOM FOREST* PADA DATA OPERASIONAL YANG DISIMULASIKAN

Daffa Baihaqi Shaquille

21/474397/TK/52342

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tanggal 3 Februari 2026 untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Program Studi Teknik Nuklir

INTISARI

Pengayaan uranium merupakan tahap krusial dalam siklus bahan bakar nuklir, dengan sentrifus gas tetap menjadi metode dominan karena efisiensi dan skalabilitasnya. Prediksi akurat keluaran pengayaan sangat penting untuk pemahaman proses, optimasi desain, dan pemodelan akademis. Namun, data operasional dari fasilitas pengayaan sangat terbatas sehingga pemodelan empiris tradisional menjadi sulit untuk dilakukan. Penelitian ini menjawab tantangan tersebut menggunakan kumpulan data simulasi dari model fisik dan matematika operasi sentrifus gas.

Penelitian ini mengembangkan dan menerapkan kerangka kerja prediktif berbasis algoritma regresi *Random Forest* untuk memodelkan keluaran utama dari proses pengayaan uranium. Model *Random Forest* dilatih dan diuji pada data operasional yang disimulasikan atau sintesis untuk memprediksi tingkat pengayaan dan mengurangi ketergantungan pada persamaan analitikal yang kompleks. Analisis komparatif terhadap persamaan ideal/ sederhana neraca massa sistem sentrifus gas digunakan untuk mengevaluasi kinerja model, menyortir kepentingan fitur, dan menilai kelayakan pendekatan berbasis data untuk pemodelan pengayaan.

Hasil menunjukkan bahwa model *Random Forest* yang dikembangkan mencapai akurasi prediksi 0,9668, kesalahan kuadrat rata-rata (MSE) $6,9 \times 10^{-7}$, dan kesalahan mutlak rata-rata (MAE) $6,2691 \times 10^{-4}$ yang menunjukkan bahwa model *Random Forest* dapat memprediksi tingkat pengayaan uranium dengan baik tanpa harus mengetahui persamaan yang mendasari proses tersebut. Analisis kepentingan fitur menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh adalah aliran umpan dan aliran limbah, dengan kepentingan masing-masing 52,12% dan 43,21%.

Kata kunci: prediksi, pengayaan uranium, sentrifus gas, *Random Forest*, disimulasikan

Pembimbing Utama : Prof. Ir. Nazrul Effendy, S.T. M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

Pembimbing Pendamping : Prof. Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T., IPU., ASEAN Eng.



PREDICTING URANIUM ENRICHMENT LEVEL VIA GAS CENTRIFUGE USING RANDOM FOREST ON SIMULATED OPERATIONAL DATA

Daffa Baihaqi Shaquille

21/474397/TK/52342

Submitted to the Departement of Nuclear Engineering and Engineering Physics
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on February 3, 2026
in partial fulfillment of the requirement for the Degree of
Bachelor of Engineering in Nuclear Engineering

ABSTRACT

Uranium enrichment is a critical stage in the nuclear fuel cycle, with the gas centrifuge remaining the dominant method due to its efficiency and scalability. Accurate prediction of enrichment outputs is essential for process understanding, design optimization, and academic modeling. However, operational data from enrichment facilities are highly restricted, making traditional empirical modeling difficult. This research addresses that challenge by employing simulated datasets generated from established physical and mathematical models of gas centrifuge operations.

This study develops and applies a predictive framework using the Random Forest regression algorithm to model key outputs of the uranium enrichment process. The Random Forest model is trained on simulated data to explore whether the model can approximate enrichment behavior while reducing the dependence on complex analytical equations. Comparative analysis is used to evaluate model performance, highlight feature importance, and assess the feasibility of data-driven approaches to enrichment modeling.

The results show that the developed Random Forest model achieves a prediction accuracy of 0.9668, a mean squared error (MSE) of 6.9×10^{-7} , and a mean absolute error (MAE) of 6.2691×10^{-4} indicating that the machine learning model is able to predict uranium enrichment level without knowing the process underlying equations. Feature importance analysis reveals that the most influential parameters are feed flow and tails flow, with importance of 52.12% and 43.21% respectively.

Keywords: predicting, uranium enrichment, gas centrifuge, Random Forest, simulated

Supervisor : Prof. Ir. Nazrul Effendy, S.T. M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T., IPU., ASEAN Eng.

