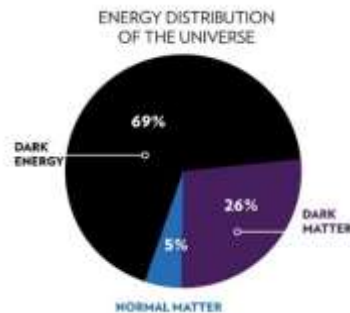


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Alam semesta terdiri dari berbagai bentuk materi dan energi, yang strukturnya dapat dilihat pada Gambar 1.1. Materi yang dapat diamati dan berinteraksi dengan cahaya disebut sebagai *visible matter* (materi tampak) yang mencakup bintang, planet, gas antar bintang, serta partikel fundamental seperti proton dan neutron. Namun, hanya sekitar 5% dari seluruh massa dan energi di alam semesta yang merupakan materi tampak, sementara sisanya terdiri dari *dark matter* dan *dark energy* (Haque, 2023). Sebagian besar materi tampak terdiri atas atom, yang tersusun dari elektron serta inti yang mengandung proton dan neutron.



Gambar 1.1 Komponen Alam Semesta (Chandra X-Ray Observatory, 2018)

Massa inti atom merupakan parameter mendasar yang menentukan energi ikat, kestabilan inti, serta kemungkinan terjadinya reaksi nuklir (Venkataramaniah et al., 2022). Informasi mengenai nilai massa inti yang akurat sangat penting dalam astrofisika untuk memahami bagaimana unsur-unsur terbentuk di

alam semesta (Horowitz et al., 2018). Proses pembentukan unsur ini terjadi di dalam bintang, ledakan supernova, atau tabrakan antar bintang neutron.

Massa total dari sebuah inti tidak selalu merupakan penjumlahan langsung dari massa penyusunnya. Hal ini disebabkan oleh adanya energi ikat atau *binding energy* yang mempengaruhi massa total. Untuk memahami perbedaan ini, digunakan konsep kelebihan massa atau *mass excess*, yaitu perbedaan antara massa aktual suatu inti atom dengan massa inti atom yang dihitung berdasarkan jumlah proton dan neutronnya (Audi et al., 2017). Pengetahuan tentang *mass excess* inti atom penting untuk menyelidiki sifat-sifat dasar inti atom (Özdoğan et al., 2022), seperti struktur inti, energi ikat inti atom, dan stabilitas inti atom. Massa inti sering kali tidak dapat ditentukan secara langsung dikarenakan kompleksitas yang ada dalam inti atom, sehingga diperlukan model atau metode prediksi. Beberapa model teoritis telah dikembangkan untuk memprediksi massa inti atom seperti Model Tetesan Cair atau *Liquid Drop Model* (Zong-Qiang et al., 2014), Model Kulit atau *Nuclear Shell Model* (Johnson & Gorton, 2022) dan Model *Microscopic-Macroscopic* atau *Finite Range Droplet Model* (Möller et al., 2016). Model - model ini mencoba menjelaskan hubungan antara massa inti dan interaksi nukleon berdasarkan prinsip-prinsip fisika nuklir. Namun, meskipun model teoritis ini telah memberikan hasil yang cukup baik, masih terdapat deviasi antara hasil prediksi dan data eksperimen, terutama untuk inti atom yang jauh dari garis kestabilan (Yüksel et al., 2021).

Pembelajaran Mesin atau *machine learning* telah muncul sebagai alat yang menjanjikan untuk menyelesaikan tantangan ini. Teknologi ini merupakan pendekatan canggih dalam ilmu komputer dan teknologi kecerdasan buatan yang digunakan untuk memvisualisasikan pengenalan pola dan mempelajari model statistik untuk klasifikasi data (Srivatsava et al., 2019). Penerapan *machine learning* dalam prediksi massa menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan metode tradisional atau teoritis. Selain efisiensi waktu dan biaya (Sun, 2011), *machine learning* juga memungkinkan eksplorasi terhadap hubungan nonlinear antara parameter atomik yang sulit dimodelkan secara analitis. *Machine learning* menyediakan model yang digunakan untuk melakukan prediksi, seperti *support vector regression* (SVR) dan *Gaussian process regression* (GPR) (Yüksel et al., 2024), *Neural network* (Dellen et al., 2024; Le et al., 2023; C.-Q. Li et al., 2022; Yiu et al., 2024; Yüksel et al., 2021), *Light Gradient Boosting Machine* (LightGBM) (Gao et al., 2021), *Mixture Density Network* (MDN) (M. Li et al., 2024; Lovell et al., 2022) dan *Bayesian Neural Network* (BNN) (Niu & Liang, 2022; Utama & Piekarewicz, 2018).

Kemampuan yang dimiliki *machine learning* dapat digunakan untuk memprediksi massa inti atom berdasarkan parameter karakteristik atom yang telah diketahui. Model *neural network* memiliki kemampuan untuk memodelkan hubungan kompleks dan nonlinear antara variabel input dan output. Arsitektur dari model ini terdiri dari beberapa lapisan tersembunyi, sehingga *neural*

network mampu menangkap pola data rumit yang menjadikannya efektif (Sharkawy, 2020) dalam berbagai tugas prediksi. *Neural network* memiliki potensi yang tinggi dalam mempelajari pola kompleks, tetapi memerlukan jumlah data yang besar untuk pelatihan agar dapat mencapai kinerja optimal dan menghindari *overfitting*. Di sisi lain, terdapat model yang cenderung tahan terhadap *overfitting* dan mampu menangani dataset dengan ukuran yang lebih kecil yaitu SVR (Ferreira et al., 2025). SVR menggunakan prinsip margin maksimal dan *kernel trick* untuk memodelkan hubungan nonlinear dalam data.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penggunaan *machine learning*, khususnya *neural network* dan *support vector regression*, dalam prediksi massa inti atom. Penelitian ini memanfaatkan teknik *machine learning* untuk mengembangkan model prediktif berdasarkan data eksperimen dan parameter teoretis guna memperdalam pemahaman mengenai sifat-sifat atom. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis pengaruh variasi input dan jenis model terhadap kinerja prediksi, dengan mengevaluasi akurasi model menggunakan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE). Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan kontribusi signifikan dalam studi massa inti atom, baik untuk inti atom stabil maupun inti yang berada di tepi stabilitas nuklir.

1.2 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, tentu diperlukan adanya batasan masalah. Pembatasan ini dimaksudkan supaya penelitian yang dilakukan lebih fokus dan terarah. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya:

1. Penelitian ini menerapkan pendekatan *supervised learning* dalam *machine learning*.
2. Model *machine learning* yang digunakan pada penelitian ini adalah *neural network* dan *support vector regression* (SVR)
3. Data input yang digunakan adalah nomor proton (Z), nomor neutron (N), nomor massa (A), surface terms ($A^{2/3}$), Ukuran asimetri isospin ($\frac{N-Z}{A}$), jarak Z ke *magic number* terdekat (v_Z), jarak N ke *magic number* terdekat (v_N), ukuran interaksi proton neutron valensi, ukuran ganjil/genap untuk Z (Z_{EO}), ukuran ganjil/genap untuk N (N_{EO}), orbital untuk proton terakhir (Z_{shell}) dan orbital untuk neutron terakhir (N_{shell})
4. Pelatihan model dilakukan dengan variasi jumlah fitur input, yaitu sebanyak 2,5,8,10 dan 12 fitur. Rincian pembagian input fitur ditampilkan dalam Tabel 1.1

Tabel 1.1 Pembagian Fitur Input (Yüksel et al., 2024)

Input	Fitur
2	Z dan N
5	$Z, N, A, A^{\frac{2}{3}}$ dan $\frac{N-Z}{A}$
8	$Z, N, A, A^{\frac{2}{3}}, \frac{N-Z}{A}, v_Z, v_N$ dan PF
10	$Z, N, A, A^{\frac{2}{3}}, \frac{N-Z}{A}, v_Z, v_N, PF, Z_{EO}$ dan N_{EO}
12	$Z, N, A, A^{\frac{2}{3}}, \frac{N-Z}{A}, v_Z, v_N, PF, Z_{EO}, N_{EO}, Z_{shell}$ dan N_{shell}

5. Besaran yang akan diprediksi dalam penelitian ini mengacu pada kelebihan massa (*Mass Excess*) inti atom.
6. Hasil akhir dari penelitian ini berupa kinerja model yang akan dievaluasi menggunakan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE).
7. Model teoritis yang digunakan yaitu *Liquid Drop Model* (LDM).

1.3 Rumusan Masalah

Fokus permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun arsitektur *neural network* dan menentukan parameter *support vector regression* optimal untuk memprediksi massa inti atom?

2. Bagaimana pengaruh jumlah input fitur terhadap akurasi model *neural network* dan *support vector regression* dalam memprediksi massa inti atom?
3. Bagaimana kinerja dua model *machine learning* (*neural network* dan *support vector regression*) dalam prediksi massa inti atom?
4. Bagaimana perbandingan antara hasil prediksi yang diperoleh melalui metode *machine learning* dengan hasil prediksi berdasarkan pendekatan teoritis?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan poin-poin permasalahan yang ada maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Untuk membangun arsitektur *neural network* dan menentukan parameter *support vector regression* optimal untuk memprediksi massa inti atom.
2. Untuk mengetahui pengaruh jumlah input fitur terhadap akurasi *neural network* dan *support vector regression* dalam memprediksi massa inti atom.
3. Untuk mengetahui kinerja dua model *machine learning* (*neural network* dan *support vector regression*) yang digunakan dalam prediksi massa inti atom.
4. Untuk mengetahui perbandingan antara hasil prediksi yang diperoleh melalui metode *machine learning* dengan hasil prediksi berdasarkan pendekatan teoritis.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1.5.1 Manfaat Teoritis

Hasil penelitian dapat memberikan kontribusi pemikiran dalam studi terkait prediksi massa atom menggunakan *machine learning*. Selain itu, data yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan mendekati hasil dari referensi yang digunakan sehingga menjadi motivasi lebih lanjut untuk mengeksplorasi model - model *machine learning* untuk prediksi massa inti atom.

1.5.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan model *machine learning* khususnya pada prediksi massa inti atom.