UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Komparatif Karakteristik Kerja Sistem Compressed Air Energy Storage (CAES) melalui Pemodelan
Numerik dan Pengujian Eksperimen**
Arief Putra Pratama, Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Ketergantungan global terhadap bahan bakar fosil dan urgensi transisi energi menuntut solusi penyimpanan energi yang efisien untuk mengatasi intermitensi energi terbarukan. Di Indonesia, peningkatan kapasitas pembangkitan listrik sering kali menimbulkan kelebihan pasokan (*surplus generation*) yang belum teroptimalkan, sehingga diperlukan teknologi seperti *Compressed Air Energy Storage* (CAES) sebagai penyimpan energi mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa sistem CAES melalui pendekatan simulasi dan eksperimen untuk memahami karakteristik termodinamika serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi energi.

Metode penelitian dilakukan melalui dua pendekatan utama. Pertama, simulasi menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS dengan model termodinamika Peng-Robinson untuk mengevaluasi pengaruh variabel fluida kerja (udara, nitrogen murni, oksigen murni, dan hidrogen murni) terhadap parameter performa sistem. Kedua, eksperimen skala laboratorium menggunakan fluida udara untuk menguji pengaruh variabel tingkat pembukaan *gate valve* dan tekanan tangki penyimpanan terhadap keluaran daya generator dan efisiensi ekspander. Hasil simulasi dan eksperimen kemudian dibandingkan untuk memvalidasi akurasi model yang dikembangkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada simulasi, hidrogen murni memberikan performa daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan gas lainnya, yang mengonfirmasi bahwa sifat fisik fluida kerja menjadi variabel krusial dalam konversi energi. Pada pengujian eksperimen, posisi *gate valve* terbuka penuh (*fully open*) terbukti meningkatkan laju aliran massa dan daya keluaran generator secara signifikan (mencapai 347,64 Watt). Selain itu, tekanan tangki penyimpanan yang lebih tinggi berkorelasi linear dengan peningkatan daya rata-rata dan efisiensi sistem. Perbandingan antara simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa model simulasi cenderung memberikan estimasi optimis (efisiensi 15%), sementara data aktual menunjukkan adanya rugi-rugi mekanis dan gesekan yang lebih besar. Sebagai kesimpulan, kinerja sistem CAES sangat bergantung pada jenis fluida kerja, pengaturan aliran, dan tekanan operasional, di mana model eksperimen memberikan gambaran nyata mengenai tantangan efisiensi yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem penyimpanan energi yang optimal.

Kata Kunci: *Compressed Air Energy Storage*, Transisi Energi, Termodinamika, Aspen HYSYS, Efisiensi Energi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Komparatif Karakteristik Kerja Sistem Compressed Air Energy Storage (CAES) melalui Pemodelan
Numerik dan Pengujian Eksperimen**
Arief Putra Pratama, Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Global dependence on fossil fuels and the urgency of energy transition demand efficient energy storage solutions to address the intermittency of renewable energy. In Indonesia, increased power generation capacity often results in unoptimized surplus generation, thus requiring technologies like Compressed Air Energy Storage (CAES) as mechanical energy storage. This study aims to analyze the performance of the CAES system through simulation and experimental approaches to understand thermodynamic characteristics and factors affecting energy efficiency.

The research method was conducted through two main approaches. First, simulation using Aspen HYSYS software with the Peng-Robinson thermodynamic model to evaluate the effect of working fluid variations (air, pure nitrogen, pure oxygen, and pure hydrogen) on system performance parameters. Second, laboratory-scale experiments using air fluid to test the effect of variations in gate valve opening level and storage tank pressure on generator power output and expander efficiency. The simulation and experimental results were then compared to validate the accuracy of the developed model.

The research results showed that in simulation, pure hydrogen provided the highest power and efficiency performance compared to other gases, confirming that the physical properties of the working fluid are crucial variables in energy conversion. In experimental tests, the fully open gate valve position was proven to significantly increase the mass flow rate and generator power output (reaching 347.64 Watts). Furthermore, higher storage tank pressure linearly correlated with increased average power and system efficiency. A comparison between simulation and experiment indicated that the simulation model tended to provide optimistic estimates (15% efficiency), while actual data showed larger mechanical and friction losses. In conclusion, CAES system performance is highly dependent on working fluid type, flow setting, and operational pressure, where the experimental model provides a real picture of efficiency challenges that need to be considered in designing an optimal energy storage system.

Keywords: Compressed Air Energy Storage, Energy Transition, Thermodynamics, Aspen HYSYS, Energy Efficiency.