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/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA ..... **i**
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS ..... **ii**
PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR ..... **iii**
PENGESAHAN DOSEN PENGUJI TUGAS AKHIR ..... **iv**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **v**
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR ..... **vi**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xvi**
DAFTAR TABEL ..... **xxv**
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN ..... **xxvii**
INTISARI ..... **xxxi**
ABSTRACT ..... **xxxii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.5.1 Aspek Pengembangan Ilmu Pengetahuan 5
1.5.2 Aspek Praktis 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 *Energy Storage System* (ESS) 7
2.1.1 *Compressed Air Energy Storage* (CAES) 8
2.2 Simulasi *Compressed Air Energy Storage* (CAES) 9
2.3 Eksperimen *Compressed Air Energy Storage* (CAES) 15
2.4 Perancangan Sistem Alat Uji CAES 24
2.5 Pemutusan Suplai Udara Kompresor 27

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/

BAB III LANDASAN TEORI 29
3.1 Penyimpanan Energi 29
3.1.1 Konsep Penyimpanan Energi 29
3.1.2 Klasifikasi Sistem Penyimpanan Energi 30
3.1.2.1 *Mechanical Energy Storage* 30
3.1.2.2 *Chemical Energy Storage* 31
3.1.2.3 *Electrochemical Energy Storage* 32
3.1.2.4 *Electrostatic and Electromagnetic Energy Storage* 34
3.1.2.5 *Thermal Energy Storage* (TES) 35
3.2 *Compressed Air Energy Storage* (CAES) 36
3.2.1 Prinsip Kerja 36
3.2.1.1 Tahap Kompresi (*Charging*) 36
3.2.1.2 Tahap Penyimpanan (*Storage*) 36
3.2.1.3 Tahap Ekspansi (*Discharging*) 37
3.2.2 Prinsip — Prinsip Dasar 37
3.2.2.1 Prinsip Termodinamika 37
3.2.2.2 Prinsip *Round Trip Efficiency* (RTE) 38
3.2.3 Klasifikasi CAES 39
3.2.3.1 *Diabatic* CAES (D-CAES) 39
3.2.3.2 *Adiabatic*/*Advanced Adiabatic* CAES (A-CAES/AA-CAES) 40
3.2.3.3 *Isothermal* CAES (I-CAES) 41
3.2.3.4 *Droplet Based* I-CAES 42
3.2.3.5 *Liquid Piston Air Compressor*/*Expander* (LP-CAES) 43
3.2.3.6 *Ocean* CAES (O-CAES) 44
3.2.4 Komponen Utama CAES 45
3.2.4.1 Kompresor 45
3.2.4.2 *Pressure Vessel* (Tangki Penyimpanan) 47
3.2.4.3 Ekspander 49
3.3 Sifat-Sifat *Thermophysical* Fluida 51
3.3.1 Udara 51
3.3.2 Nitrogen Murni 57

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/

3.3.3 Oksigen Murni..... 63
3.3.4 Hidrogen Murni..... 66
3.4 Aspen HYSYS..... 76
3.5 *Reciprocating Compressor*..... 77
3.6 *Cooler*/*Heater* dalam HYSYS..... 82
3.7 *Tank*..... 83
3.8 *Valve Operation*..... 87
3.9 Ekspander..... 90
3.10 *Compressible Gas Pipe*..... 91
3.11 Teori Ekspander / Kompresor dalam HYSYS..... 92
3.11.1 Teori Tunak (*Steady State*) 92
3.11.2 Teori Dinamis 93
3.12 Generator..... 94
3.13 REFPROP..... 99
BAB IV METODE PENELITIAN 101
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian..... 101
4.2 Diagram Alir Penelitian..... 101
4.3 Alat dan Bahan Penelitian..... 106
4.3.1 Alat Penelitian (Simulasi)..... 106
4.3.2 Alat Penelitian (Eksperimen)..... 106
4.3.3 Bahan Penelitian..... 109
4.4 Sistem Sensor dan Validasi Sensor..... 111
4.4.1 Powermeter 3PH..... 111
4.4.2 Kompresor..... 111
4.4.3 *Pressure Vessel*..... 112
4.4.4 *Gate Valve*..... 113
4.4.5 Manometer..... 114
4.4.6 Sensor Tekanan *Feed Expander*..... 114
4.4.7 Sensor Suhu *Feed Expander*..... 115
4.4.8 Sensor *Flow Rate*..... 116
4.4.9 Ekspander..... 117

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/

4.4.10 Generator……... 118
4.4.11 Sensor Suhu *Outlet Expander*……118
4.4.12 Sensor Tekanan *Outlet Expander*…….. 119
4.4.13 Powermeter 1PH…… 120
4.4.14 *Data Logger*……...121
4.5 Variabel Penelitian 122
4.6 Prosedur Penelitian..... 125
4.6.1 Prosedur Simulasi Aspen HYSYS……...125
4.6.1.1 Menentukan Fluida Simulasi……125
4.6.1.2 Memilih Metode Perhitungan…….. 126
4.6.1.3 Memodelkan Diagram Alir Proses……... 127
4.6.1.4 Menentukan Parameter Operasi pada Setiap Komponen…….128
4.6.1.5 Analisis Hasil Simulasi Sistem…….128
4.6.2 Prosedur *Plotting* Diagram REFPROP…… 129
4.6.2.1 Memilih Fluida yang digunakan dalam Simulasi…….129
4.6.2.2 Memilih Titik-Titik Proses Simulasi…… 130
4.6.2.3 Memilih Plot Grafik Simulasi…….. 130
4.6.3 Prosedur Penggunaan Powermeter 3PH…….. 131
4.6.4 Eksperimen Karakteristik Kompresor…… 132
4.6.5 Prosedur Perekaman Data CAES…….133
4.7 Pengolahan Data dan Analisis Hasil 134
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 135
5.1 Analisis Simulasi Karakteristik Perfoma CAES 135
5.1.1 Validasi Simulasi CAES…….. 135
5.1.2 Hasil Simulasi CAES……... 141
5.1.3 Diagram Siklus CAES……..144
5.1.4 Performa Simulasi CAES…….150
5.2 Karakteristik Kompresor 167
5.3 Analisis Eksperimen Variabel Tingkat Pembukaan *Gate Valve* terhadap Karakteristik Performa Sistem CAES 173

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/

5.4 Analisis Eksperimen Variabel Tekanan Tangki Penyimpanan terhadap Karakteristik Performa Sistem CAES 197
5.5 Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen Performa Sistem CAES……218
BAB VI PENUTUP 227
6.1 Kesimpulan..... 227
6.2 Saran 228
DAFTAR PUSTAKA 229
LAMPIRAN..... 235
Lampiran 1. Indeks Emisi Indonesia 235
Lampiran 2. Dokumentasi Eksperimen dan Perakitan 236
Lampiran 3. Tampilan Aplikasi TachpMeter 237
Lampiran 4. Tampilan Muka Aplikasi Virtual Studio Code 238
Lampiran 5. Tampilan Muka ModbusPol 239
Lampiran 6. Grafik CAES pada Variabel Bukaan *Gate Valve* 240
Lampiran 7. Grafik CAES pada Variabel Tekanan *Pressure Vessel* 247
Lampiran 8. Grafik CAES Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen 254