

SKRIPSI
STUDI EKSPERIMEN SISTEM *DISCHARGING* PADA
PROTOTIPE *COMPRESSED AIR GRAVITY ENERGY STORAGE*
UNTUK PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK



Intelligentia - Dignitas

Disusun Oleh:

Eldi Saputra 1520620043

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Judul : Studi Eksperimen Sistem *Discharging* Pada Prototipe
Compressed Air Gravity Energy Storage (CA-GES) Untuk
Pembangkit Energi Listrik.
Penyusun : Eldi Saputra
NIM : 1520620043

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM.

NIP.197911022012121001

Pembimbing II,



Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

NIP. 197604222006041001

**Mengetahui,
Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Jakarta**



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM.

NIP. 197911022012121001


LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Studi Eksperimen Sistem *Discharging* Pada Prototipe
Compressed Air Gravity Energy Storage (CA-GES) Untuk
Pembangkit Energi Listrik.
Penyusun : Eldi Saputra
NIM : 1520620043
Tanggal Ujian : 07 Februari 2025

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM.


Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

NIP.197911022012121001

NIP. 197604222006041001

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi

Ketua Penguji,

Anggota Penguji I,

Anggota Penguji II,


Dr. Eng. Agung Premono, M.T.


Ahmad Kholil, M.T.


Nugroho Gama Yoga, M.T.

NIP. 197705012001121002

NIP. 197908312005011001

NIP. 197602052006041001

Mengetahui,
Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Jakarta


Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM.

NIP. 197911022012121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 13 Februari 2025
Yang membuat pernyataan



Eldi Saputra

No. Reg. 1520620043



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Eldi Saputra
NIM : 1520620043
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik/S1 Teknik Mesin
Alamat email : eldispnr07@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi Tesis Disertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Studi Eksperimen Sistem *Discharging* Pada Prototipe *Compressed Air Gravity Energy*
Storage Untuk Pembangkit Energi Listrik.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 18 Februari 2025

Penulis

(Eldi Saputra)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Laporan Skripsi dengan judul “Studi Eksperimen Sistem *Discharging* pada Prototipe *Compressed Air Gravity Energi Storage* untuk pembangkit energi listrik”.

Laporan Skripsi merupakan salah satu persyaratan penting yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta untuk menyelesaikan masa studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T). Dalam proses penyusunan Laporan Skripsi ini tidak terlepas dari arahan, bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM., selaku Dosen Pembimbing 1 dalam penulisan laporan skripsi dan juga selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 dalam penulisan laporan skripsi.
3. Seluruh Dosen Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya.
4. Seluruh Staf Tata Usaha Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta yang telah membantu segala bentuk administrasi yang dibutuhkan.
5. Kedua orang tua penulis, Ibu Euis Sumartini dan Bapak Hamdani terimakasih atas segala dorongan moral maupun material dan selalu mendoakan serta memberikan semangat kepada Penulis.
6. Seluruh keluarga besar S1 Teknik Mesin yang selalu mendukung Penulis dalam mengerjakan laporan skripsi.

Dengan penuh kesadaran, penulis mengakui bahwa pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki masih terbatas, sehingga dalam penulisan Laporan Skripsi ini masih terdapat kekurangan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar dapat dijadikan bahan evaluasi untuk perbaikan kedepan. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang berkepentingan.



**STUDI EKSPERIMEN SISTEM *DISCHARGING* PADA
PROTOTYPE *COMPRESSED AIR GRAVITY ENERGY STORAGE* (CA-GES)
UNTUK PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK**

Eldi Saputra

Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM. dan Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses manufaktur dan menguji kinerja sistem *discharging* pada Prototipe *Compressed Air Gravity Energy Storage* (CA-GES) sebagai alternatif teknologi penyimpanan energi yang ramah lingkungan. Sistem ini dirancang untuk memanfaatkan tekanan udara dalam tangki bertekanan dan massa piston untuk menggerakkan turbin mikrohidro, untuk menghasilkan daya listrik dari energi yang tersimpan. Pengujian dilakukan dengan variasi tekanan kompresor 0,1 MPa, 0,15 MPa, dan 0,2 MPa dan variasi massa piston 0,3 kg, 0,7 kg, dan 2 kg, untuk mengetahui pengaruh tekanan udara dan massa piston yang diberikan terhadap total energi yang dilepaskan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada massa piston 2 kg dan peningkatan tekanan kompresor berbanding lurus dengan daya listrik dan energi total *discharging* yang dihasilkan. Pada tekanan 0,1 MPa dengan piston 2 kg, daya listrik mencapai 0,505 W dengan efisiensi *discharging* 10%, menghasilkan energi total *discharging* sebesar 0,035 Wh. Pada tekanan 0,15 MPa, daya listrik meningkat signifikan menjadi 2,258 W dengan efisiensi *discharging* sebesar 24%, menghasilkan energi total *discharging* sebesar 0,115 Wh. Tekanan 0,2 MPa menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 3,134 W dan efisiensi *discharging* 26%, dengan energi total *discharging* sebesar 0,137 Wh. Analisis menunjukkan bahwa tekanan kompresor 0,2 MPa dengan massa piston 2kg memberikan kinerja optimal dengan efisiensi sistem yang baik dan keseimbangan antara daya maksimum yang dihasilkan dan durasi pelepasan energi. Sistem CA-GES membuktikan potensi sebagai alternatif penyimpanan energi yang ekonomis, ramah lingkungan, dan cocok untuk aplikasi energi terbarukan seperti panel surya.

Keywords: *Compressed Air Gravity Energy Storage*, Sistem *Discharging*, tekanan kompresor, efisiensi turbin mikrohidro, energi terbarukan.

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE DISCHARGING SYSTEM IN A
COMPRESSED AIR GRAVITY ENERGY STORAGE (CA-GES) PROTOTYPE
FOR ELECTRICITY GENERATION**

Eldi Saputra

Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. IPM. dan Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

ABSTRACT

This study aims to manufacture and evaluate the performance of the discharging system in a Compressed Air Gravity Energy Storage (CA-GES) prototype as an environmentally friendly energy storage technology. The system is designed to utilize pressurized air in a high-pressure tank and the mass of a piston to drive a micro-hydro turbine, converting stored energy into electricity. Testing was conducted with variations in compressor pressure (0.1 MPa, 0.15 MPa, and 0.2 MPa) and piston mass (0.3 kg, 0.7 kg, and 2 kg) to analyze the effects of air pressure and piston mass on the total discharged energy. The results indicate that at a piston mass of 2 kg, an increase in compressor pressure is directly proportional to the generated electrical power and total discharged energy. At 0.1 MPa with a 2 kg piston, the system produced 0.505 W of electrical power with a discharging efficiency of 10%, resulting in a total discharged energy of 0.035 Wh. At 0.15 MPa, the electrical power increased significantly to 2.258 W with a discharging efficiency of 24%, yielding a total discharged energy of 0.115 Wh. The highest power output of 3.134 W was achieved at 0.2 MPa, with a discharging efficiency of 26% and a total discharged energy of 0.137 Wh. The analysis demonstrates that a compressor pressure of 0.2 MPa combined with a 2 kg piston mass provides optimal performance, balancing maximum power generation and energy release duration. The CA-GES system shows promising potential as a cost-effective and environmentally friendly energy storage alternative, particularly for renewable energy applications such as solar panels.

Keywords: *Compressed Air Gravity Energy Storage, Discharging System, Compressor Pressure, Micro-Hydro Turbine Efficiency, Renewable Energy.*

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 5 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 6 |
| 1.4 Perumusan Masalah | 6 |
| 1.5 Tujuan Penelitian | 6 |
| 1.6 Manfaat Penelitian | 7 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 8 |
| 2.1 Energi Terbarukan..... | 8 |
| 2.1.1 Jenis Energi Terbarukan..... | 9 |
| 2.2 <i>Energy Storage System</i> | 11 |
| 2.2.1 Battery Energy Storage (BESS)..... | 12 |
| 2.2.2 Pumped Hydroelectric Energy Storage (PHES) | 13 |
| 2.2.3 Compressed Air Energy Storage (CAES)..... | 15 |
| 2.2.4 Gravity Energy Storage (GES) | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3 Konversi Energi | 17 |
| 2.3.1 Generator..... | 17 |
| 2.3.2 Kompresor..... | 18 |
| 2.3.3 Turbin..... | 18 |
| 2.4 Perbandingan Efisiensi Sistem Teknologi Penyimpanan Energi | 19 |
| 2.5 Kerangka Berpikir..... | 20 |
| 2.6 Hasil Penelitian Yang Relevan | 21 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 24 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 24 |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian..... | 24 |
| 3.2.1 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>) | 24 |
| 3.2.2 Perangkat Lunak (<i>Software</i>)..... | 25 |
| 3.3 Diagram Alir Penelitian | 26 |
| 3.4 Definisi Compressed Air Gravity Energy Storage (CA-GES)..... | 27 |
| 3.5 Desain Compressed Air – Gravity Energy Storage..... | 28 |
| 3.6 Perakitan <i>Prototipe Compressed Air Gravity Energy Storage</i> | 28 |
| 3.6.1 Proses Pembuatan Rangka | 30 |
| 3.6.2 Proses Perakitan Silinder dan Stoper | 31 |
| 3.6.3 Proses Pembubutan Piston | 31 |
| 3.6.4 Proses Perakitan Jalur Perpipaan Input dan Output | 32 |
| 3.6.6 Proses Perakitan Tangki Udara Bertekanan | 33 |
| 3.7 Prototipe <i>Compressed Air Gravity Energy Storage</i> | 33 |
| 3.8 Skematik <i>Compressed Air Gravity Energy Storage</i> | 34 |
| 3.9 Skematik Pengujian..... | 35 |
| 3.10 Matriks Penelitian | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 3.11 Teknik Analisis Data..... | 37 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 40 |
| 4.1 Hasil Pengujian | 40 |
| 4.2 Analisa Pengujian Sistem <i>Discharging</i> Variasi Massa Piston 0,3 kg..... | 40 |
| 4.2.1 Variasi Tekanan 0,1 MPa..... | 40 |
| 4.2.2 Variasi Tekanan 0,15 MPa..... | 42 |
| 4.2.3 Variasi Tekanan 0,2 MPa..... | 44 |
| 4.3 Analisa Pengujian Sistem <i>Discharging</i> Variasi Massa Piston 0,7 kg..... | 45 |
| 4.3.1 Variasi Tekanan 0,1 MPa..... | 45 |
| 4.3.2 Variasi Tekanan 0,15 MPa..... | 47 |
| 4.3.3 Variasi Tekanan 0,2 MPa..... | 49 |
| 4.4 Analisa Pengujian Sistem <i>Discharging</i> Variasi Massa Piston 2 kg | 51 |
| 4.4.1 Variasi Tekanan 0,1 MPa..... | 51 |
| 4.4.2 Variasi Tekanan 0,15 MPa..... | 53 |
| 4.4.3 Variasi Tekanan 0,2 MPa..... | 55 |
| 4.5 Analisa Pengaruh Tekanan Kompresor Dan Massa Piston Terhadap Daya Yang Dihasilkan..... | 57 |
| 4.6 Hasil Perhitungan Energi Total <i>Discharging</i> | 63 |
| 4.7 Efisiensi Sistem <i>Discharging</i> | 64 |
| BAB V KESIMPULAN | 67 |
| 5.1 Kesimpulan | 67 |
| 5.2 Saran..... | 68 |
| DAFTAR PUSTAKA | 69 |
| LAMPIRAN..... | 76 |
| Lampiran 1 Desain alat CA-GES | 76 |

| | |
|--|----|
| Lampiran 2 Desain Piston | 77 |
| Lampiran 3 Proses manufaktur CA-GES | 78 |
| Lampiran 4 Proses pengambilan data pengujian discharging CA-GES..... | 78 |
| Lampiran 5 Perhitungan efisiensi sistem discharging..... | 79 |
| Lampiran 6 Daftar riwayat hidup..... | 81 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Pembangkit listrik tenaga surya..... | 9 |
| Gambar 2.2 Turbin angin..... | 10 |
| Gambar 2.3 Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)..... | 11 |
| Gambar 2.4 <i>Battery energy storage</i> | 12 |
| Gambar 2.5 Baterai jenis lithium..... | 13 |
| Gambar 2.6 <i>Pumped hydroelectric energy storage (PHES)</i> | 13 |
| Gambar 2.7 <i>Compressed air energy storage (CAES)</i> | 15 |
| Gambar 2.8 Skematik sistem <i>gravity energy storage</i> | 16 |
| Gambar 2.10 Turbin impuls | 19 |
| Gambar 2.12 Kerangka berpikir | 20 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian | 26 |
| Gambar 3.2 Desain <i>Compressed Air Gravity Energy Storage</i> | 28 |
| Gambar 3.3 Proses manufaktur rangka CA-GES | 30 |
| Gambar 3.4 Pipa silinder piston dan stoper piston | 31 |
| Gambar 3.5 Piston 0,3 kg | 31 |
| Gambar 3.6 Piston 0,7 Kg | 32 |
| Gambar 3.7 Piston 2 kg | 32 |
| Gambar 3.8 Komponen perpipaan jalur transfer fluida..... | 32 |
| Gambar 3.9 Tangki udara bertekanan..... | 33 |
| Gambar 3.10 Tampak depan dan samping sistem CA-GES..... | 33 |
| Gambar 3.11 Skematik <i>Compressed Air Gravity Energy Storage</i> | 34 |
| Gambar 3.12 Skematik pengujian | 36 |
| Gambar 4.1 Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,1 MPa dengan piston 0,3 kg | 41 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 4.2 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,1 MPa dengan piston 0,3 kg | 42 |
| Gambar 4.3 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,15 MPa dengan piston 0,3 kg..... | 43 |
| Gambar 4.4 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,15 MPa dengan piston 0,3 kg ... | 43 |
| Gambar 4.5 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,2 MPa dengan piston 0,3 kg | 44 |
| Gambar 4.6 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,2 MPa dengan piston 0,3 kg | 45 |
| Gambar 4.7 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,1 MPa dengan piston 0,7 kg | 46 |
| Gambar 4.8 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,2MPa dengan piston 0,7kg | 47 |
| Gambar 4.9 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,15 MPa dengan piston 0,7 kg..... | 48 |
| Gambar 4.10 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,15 MPa dengan piston 0,7 kg . | 49 |
| Gambar 4.11 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,2 MPa dengan piston 0,7 kg..... | 50 |
| Gambar 4.12 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,2 MPa dengan piston 0,7 kg ... | 51 |
| Gambar 4.13 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,1 MPa dengan piston 2 kg | 52 |
| Gambar 4.14 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,1 MPa dengan piston 2 kg | 53 |
| Gambar 4.15 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,15 MPa dengan piston 2 kg | 54 |
| Gambar 4.16 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,15 MPa dengan piston 2 kg | 55 |
| Gambar 4.17 | Grafik tegangan dan arus pada tekanan 0,2 MPa dengan piston 2 kg | 56 |
| Gambar 4.18 | Grafik daya listrik pada tekanan 0,2 MPa dengan piston 2 kg | 57 |
| Gambar 4.19 | Variasi tekanan dan massa piston terhadap arus listrik | 58 |
| Gambar 4.20 | Variasi tekanan dan massa piston terhadap tegangan listrik | 59 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.21 Variasi tekanan dan massa piston terhadap laju aliran air | 60 |
| Gambar 4.22 Variasi tekanan dan massa piston terhadap daya listrik | 61 |
| Gambar 4.23 Grafik energi total <i>discharging</i> | 64 |
| Gambar 4.24 Grafik efisiensi sistem <i>discharging</i> | 65 |



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan efisiensi penyimpanan energi | 19 |
| Tabel 2.2 Penelitian sistem CA-GES | 21 |
| Tabel 3.1 Daftar komponen CA-GES | 29 |
| Tabel 3.2 Matriks penelitian..... | 37 |
| Tabel 4.1 Perhitungan energi total <i>discharging</i> | 63 |
| Tabel 4.2 Hasil perhitungan efisiensi sistem <i>discharging</i> | 65 |

