

SKRIPSI
**ANALISIS PENGARUH JUMLAH *BLADE* TURBIN
CROSSFLOW TERHADAP KINERJA SISTEM *COMPRESSED*
AIR GRAVITY ENERGY STORAGE (CA-GES)**



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi Teknik Mesin

Oleh:

RIFKY FAHROZA

1520621035

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
TAHUN 2026**

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH *BLADE* TURBIN CROSSFLOW
TERHADAP KINERJA SISTEM *COMPRESSED AIR GRAVITY ENERGY
STORAGE* (CA-GES)**

Rifky Fahroza

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

ABSTRAK

Pengembangan energi terbarukan membutuhkan sistem penyimpanan energi yang mampu menyimpan dan mengembalikan energi secara efektif. Salah satu teknologi yang dapat dikembangkan adalah *Compressed Air-Gravity Energy Storage* (CA-GES), yang memanfaatkan udara bertekanan untuk mendorong air menuju turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah *blade* turbin Crossflow terhadap kinerja sistem CA-GES. Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan prototipe CA-GES skala laboratorium dengan variasi jumlah *blade* sebanyak 21, 23, dan 25 *blade* serta tekanan udara 0,3 MPa, 0,35 MPa, dan 0,4 MPa. Parameter yang dianalisis meliputi daya listrik, waktu *discharging*, energi total *discharging*, energi mekanis, dan efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah *blade* memengaruhi daya listrik dan efisiensi sistem, sedangkan waktu *discharging* lebih dipengaruhi oleh tekanan udara. Pada tekanan 0,3 MPa, daya tertinggi diperoleh pada 21 *blade* sebesar 3,449 W dengan efisiensi 26%. Pada tekanan 0,35 MPa, 25 *blade* menghasilkan daya sebesar 4,682 W, energi total *discharging* sebesar 0,191 Wh, dan efisiensi tertinggi sebesar 29%. Sementara itu, daya listrik tertinggi sebesar 4,701 W diperoleh pada 25 *blade* dengan tekanan 0,4 MPa, dengan efisiensi sebesar 17%. Berdasarkan hasil tersebut, konfigurasi 25 *blade* pada tekanan 0,35 MPa merupakan kondisi paling optimal berdasarkan efisiensi sistem, sedangkan konfigurasi 25 *blade* pada tekanan 0,4 MPa menghasilkan daya listrik tertinggi.

Kata kunci: *Compressed Air-Gravity Energy Storage* (CA-GES), turbin Crossflow, jumlah *blade*, daya listrik, energi *discharging*, efisiensi.

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE NUMBER OF CROSSFLOW
TURBINE BLADES ON THE PERFORMANCE OF A COMPRESSED AIR
GRAVITY ENERGY STORAGE (CA-GES) SYSTEM***

Rifky Fahroza

***Academic Advisor: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. dan Dr. Darwin Rio Budi
Syaka, M.T.***

ABSTRACT

The development of renewable energy requires energy storage systems capable of storing and delivering energy effectively. One technology that can be developed is Compressed Air-Gravity Energy Storage (CA-GES), which utilizes compressed air to drive water toward a turbine to generate electrical energy. This study aims to analyze the effect of variations in the number of blades of a Crossflow turbine on the performance of a CA-GES system. The study was conducted experimentally using a laboratory-scale CA-GES prototype with variations in the number of blades, namely 21, 23, and 25 blades, and air pressures of 0.3 MPa, 0.35 MPa, and 0.4 MPa. The parameters analyzed included electrical power, discharging time, total discharging energy, mechanical energy, and system efficiency. The results showed that variations in the number of blades affected the electrical power and system efficiency, while the discharging time was more strongly influenced by air pressure. At 0.3 MPa, the highest power was obtained with 21 blades, reaching 3.449 W with an efficiency of 26%. At 0.35 MPa, 25 blades produced a power output of 4.682 W, total discharging energy of 0.191 Wh, and the highest efficiency of 29%. Meanwhile, the highest electrical power of 4.701 W was obtained with 25 blades at 0.4 MPa, with an efficiency of 17%. Based on these results, the configuration of 25 blades at 0.35 MPa was the most optimal condition in terms of system efficiency, while the configuration of 25 blades at 0.4 MPa produced the highest electrical power.

Keywords: *Compressed Air-Gravity Energy Storage (CA-GES), Crossflow turbine, number of blades, electrical power, discharging energy, efficiency.*

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

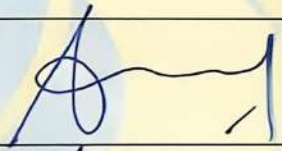
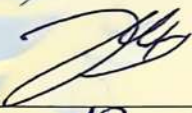
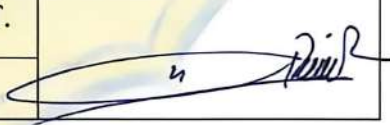
BENTUK: SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Rifky Fahroza
NIM : 1520621035
Program Studi/Fakultas : Teknik Mesin/Teknik
Judul Penelitian : Analisis Pengaruh Jumlah *Blade* Turbin Crossflow
Terhadap Kinerja Sistem *Compressed Air Gravity
Energy Storage* (CA-GES)

Ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan (~~Lulus/Tidak Lulus~~)

Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal: 06 Agustus 2026

Tim Penguji,

Ketua Penguji	Dr. Ir. Ahmad Kholil, M.T.	
	NIDN. 0031087901	
Penguji Ahli 1	Prof. Dr. Ir. Imam Basori, M.T.	
	NIDN. 0007067903	
Penguji Ahli 2	Nugroho Gama Yoga, M.T.	
	NIDN. 0005027603	
Pembimbing 1	Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.	
	NIDN. 0402117902	
Pembimbing 2	Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.	
	NIDN. 0022047608	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 002902720

Koordinator Program Studi
S1 Teknik Mesin


Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIDN. 0402117902

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Rifky Fahroza
No. Registrasi : 1520621035
Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 26 Januari 2003
Alamat : Kp. Duri No. 207 RT.006/01, Kel. Semanan
Kec. Kalideres, Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta,
11850

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan Karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat 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 di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, 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, 06 Agustus 2026
Yang membuat pernyataan,



Rifky Fahroza
No. Reg. 1520621035



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

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 : Rifky Fahroza
NIM : 1520621035
Fakultas/Prodi : Teknik/ S1 Teknik Mesin
Alamat email : rfkyf26@gmail.com

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

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

yang berjudul :

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH *BLADE* TURBIN CROSSFLOW TERHADAP KINERJA
SISTEM *COMPRESSED AIR GRAVITY ENERGY STORAGE* (CA-GES)**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan 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, 20 Agustus 2026
Penulis

(Rifky Fahroza)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, keluarga, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing 1 dan Koordinator Program studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta atas kesediannya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 atas kesediannya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dorongan semangat dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini;
3. Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah memberi bantuan dukungan material maupun moral;
4. Eldi Saputra, Astama Lalang Fawwaz dan Indrianto Dicky Ismawan selaku kakak tingkat penulis yang telah memberikan dukungan, diskusi dan memberikan semangat dalam proses penyusunan skripsi ini;
5. Kepada Rangga, Khoirul, Akhid, Eko, Nafis, Ali, Faishal, Reza, Harraz, Fadli dan teman teman seperjuangan prodi S1 Teknik Mesin 2021 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 06 Agustus 2026

Penulis



Rifky Fahroza

NIM. 1520621035

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II KERANGKA TEORITIK.....	5
2.1 Energi Terbarukan.....	5
2.1.1 Kebutuhan Inovasi Dalam Penyimpanan Energi	8
2.2 Turbin Impuls.....	12
2.2.1 Turbin <i>Crossflow</i>	12
2.2.2 Turbin Turgo	13
2.2.3 Turbin Pelton.....	14
2.3 Rumus Jumlah <i>Blade</i> (<i>Z</i>)	14
2.4 Rumus Luas Penampang <i>Nozzle</i> (<i>A</i>).....	15
2.5 Rumus <i>Head</i> dari Tekanan Udara dan Total <i>Head</i>	15
2.6 Rumus Kecepatan Jet, Laju aliran dan Kecepatan <i>Blade</i>	16
2.7 Rumus Kecepatan (<i>Blade</i> & Putaran Turbin)	16
2.8 Rumus Daya Input Air, Daya Output Turbin dan Torsi	17
2.9 Rumus Efisiensi Turbin (η)	18
2.10 Material Turbin <i>Crossflow</i>	19
2.11 Penelitian Sebelumnya	19

2.12 Hipotesis Penelitian.....	21
2.13 Kerangka Berpikir.....	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.3 Diagram Alir Penelitian	24
3.4 Gambar Desain Pipa Air	25
3.5 Gambar Desain Turbin Crossflow	25
3.6 Penentuan <i>Layer Height</i>	27
3.7 Perhitungan Parameter Desain Turbin Crossflow.....	28
3.7.1 Diameter <i>Blade</i> Turbin (D).....	28
3.7.2 Diameter <i>Nozzle</i> (Jet) (d).....	28
3.7.3 Jumlah <i>Blade</i> (Z).....	28
3.7.4 Luas Penampang <i>Nozzle</i> (A)	29
3.7.5 <i>Head</i> dari Tekanan Udara dan Total <i>Head</i>	30
3.7.6 Kecepatan Jet Air (V), Laju Aliran (Q) dan Kecepatan <i>Blade</i> (u).....	30
3.7.7 Kecepatan (<i>Blade</i> dan Putaran Turbin).....	31
3.7.8 Daya Input Air, Daya Output Turbin dan Torsi.....	32
3.8 Konfigurasi Pada Variasi Massa Piston	33
3.9 Kompresor Udara	34
3.10 Perbandingan CA-GES Terdahulu dan Terbaru	35
3.10.1 Desain CA-GES Terdahulu.....	35
3.10.2 Desain CA-GES Terbaru.....	36
3.10.3 <i>Prototype</i> CA-GES.....	37
3.11 Skematik Pengujian Turbin.....	37
3.12 Skematik Kelistrikan Turbin.....	40
3.13 Matriks Penelitian	41
3.14 Teknik Analisis Data.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Analisis <i>Charging</i> Pompa Menggunakan Massa 0,7 kg	46
4.2 Analisis <i>Charging</i> Menggunakan Massa Piston 2 kg	48
4.3 Analisa <i>Flowrate</i>	50

4.4 Analisa dan Pembahasan Tekanan 0,3 Mpa.....	51
4.4.1 Tekanan 0,3 Mpa.....	51
4.4.2 Tekanan 0,35 Mpa.....	52
4.4.3 Tekanan 0,4 Mpa.....	53
4.5 Perhitungan Daya Yang Mampu Disimpan	55
4.6 Analisa Hasil Perbandingan Efisiensi	56
4.7 Analisa <i>Discharging</i> Dengan Variasi Jumlah <i>Blade</i>	58
4.7.1 Variasi <i>Blade</i> 21 Dengan Variasi Tekanan	58
4.7.2 Variasi <i>Blade</i> 23 Dengan Variasi Tekanan	61
4.7.3 Variasi <i>Blade</i> 25 Dengan Variasi Tekanan	65
4.8 Hasil Perhitungan Energi Total <i>Discharging</i> Terhadap Jumlah <i>Blade</i>	68
BAB V KESIMPULAN.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	81

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

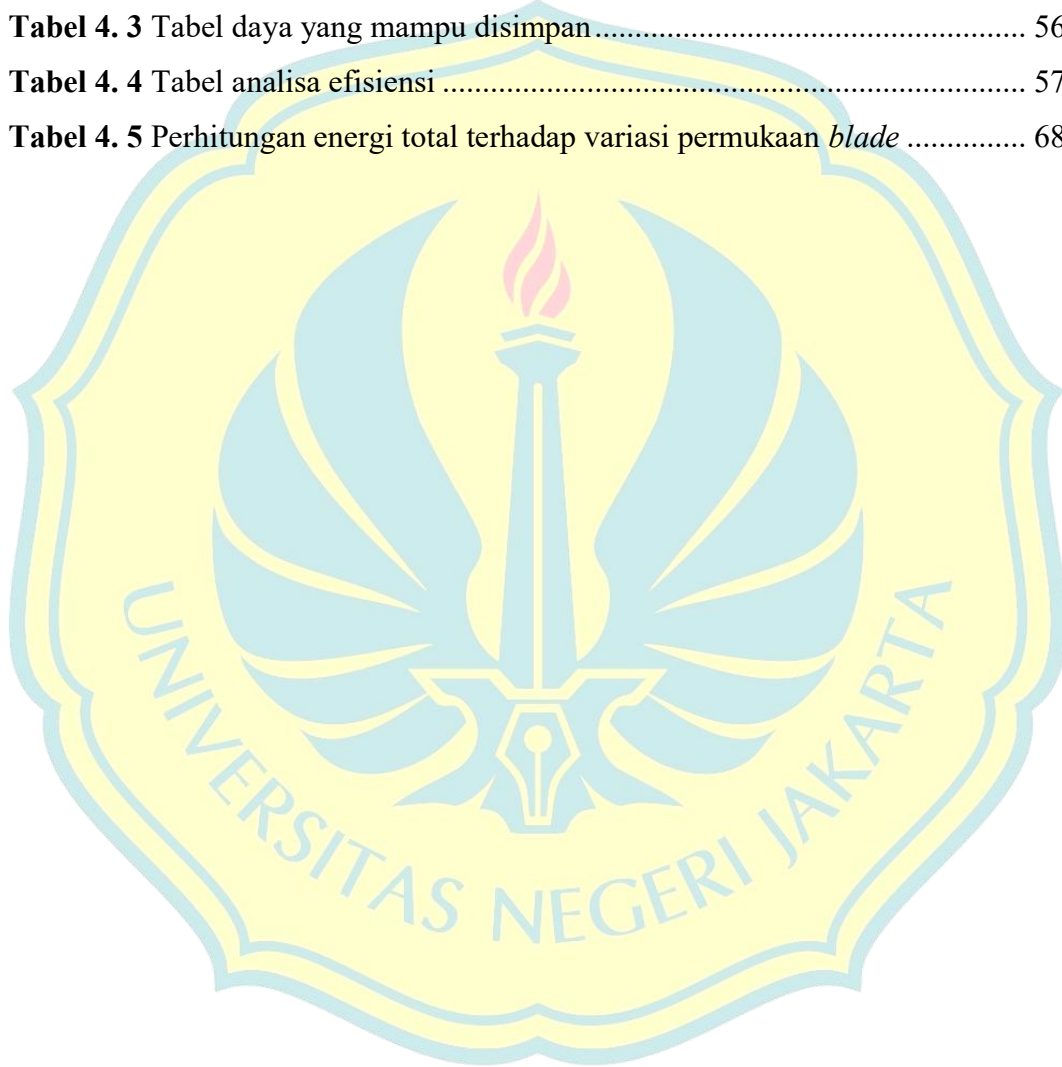
Gambar 2. 1 Pembangkit listrik tenaga surya.....	5
Gambar 2. 2 Pembangkit listrik tenaga angin.....	6
Gambar 2. 3 Pembangkit listrik tenaga air	6
Gambar 2. 4 Pembangkit geothermal	7
Gambar 2. 5 Energi biomassa.....	8
Gambar 2. 6 Baterai Lithium-ion	9
Gambar 2. 7 Pumped Hydro Energy Storage (PHES).....	10
Gambar 2. 8 Skematik Compressed Air Energy Storage	10
Gambar 2. 9 Solid Gravity Energy Storage (a). P-SGES; (b). T-SGES.....	11
Gambar 2. 10 Turbin Crossflow	12
Gambar 2. 11 Turbin Turgo.....	13
Gambar 2. 12 Turbin Pelton	14
Gambar 2. 13 Bahan PLA+	19
Gambar 2. 14 Kerangka berpikir	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	24
Gambar 3. 2 Pipa Air (A) ke kanan dan (B) ke bawah.....	25
Gambar 3. 3 Dimensi turbin Crossflow.....	26
Gambar 3. 4 Parameter layer height 0,2 mm.....	27
Gambar 3. 5 Piston 0,7 kg	33
Gambar 3. 6 Piston 2 kg	34
Gambar 3. 7 Kompresor udara	34
Gambar 3. 8 CA-GES terdahulu.....	35
Gambar 3. 9 CA-GES terbaru.....	36
Gambar 3. 10 Hasil rangkaian keseluruhan sistem CAGES	37
Gambar 3. 11 Skematik pengujian turbin.....	38
Gambar 3. 12 Skematik jalur kelistrikan turbin	40
Gambar 4. 1 Grafik arus & tegangan pompa pada piston 0,7 kg	46
Gambar 4. 2 Grafik daya pompa pada piston 0,7 kg	47
Gambar 4. 3 Grafik arus & tegangan pompa pada piston 2 kg	48
Gambar 4. 4 Grafik daya pompa pada piston 2 kg	49
Gambar 4. 5 Grafik laju aliran pada variasi massa piston	50

Gambar 4. 6 Grafik tekanan bejana 3 Bar	51
Gambar 4. 7 Grafik tekanan bejana 3,5 Bar	52
Gambar 4. 8 Grafik tekanan bejana 4 Bar	53
Gambar 4. 9 Grafik efisiensi charging.....	57
Gambar 4. 10 Tegangan variasi jumlah <i>blade</i> 21	59
Gambar 4. 11 Arus variasi jumlah <i>blade</i> 21	60
Gambar 4. 12 Daya variasi jumlah <i>blade</i> 21	61
Gambar 4. 13 Tegangan variasi jumlah <i>blade</i> 23	62
Gambar 4. 14 Arus variasi jumlah <i>blade</i> 23	63
Gambar 4. 15 Daya variasi jumlah <i>blade</i> 23	64
Gambar 4. 16 Tegangan variasi jumlah <i>blade</i> 25	65
Gambar 4. 17 Arus variasi jumlah <i>blade</i> 25	66
Gambar 4. 18 Daya variasi jumlah <i>blade</i> 25	67
Gambar 4. 19 Daya terhadap variasi jumlah <i>blade</i>	69
Gambar 4. 20 Waktu terhadap variasi jumlah <i>blade</i>	70
Gambar 4. 21 Laju aliran terhadap variasi jumlah <i>blade</i>	71
Gambar 4. 22 Energi total terhadap variasi jumlah <i>blade</i>	72
Gambar 4. 23 Energi mekanis terhadap variasi jumlah <i>blade</i>	73
Gambar 4. 24 Efisiensi terhadap variasi jumlah <i>blade</i>	74

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem CA-GES peneliti sebelumnya.....	20
Tabel 3. 2 Matriks penelitian.....	42
Tabel 4. 1 Data daya pada pompa	49
Tabel 4. 2 Tabel data tekanan kompresor.....	54
Tabel 4. 3 Tabel daya yang mampu disimpan	56
Tabel 4. 4 Tabel analisa efisiensi	57
Tabel 4. 5 Perhitungan energi total terhadap variasi permukaan <i>blade</i>	68



Intelligentia - Dignitas

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Turbin Crossflow	81
Lampiran 2 Perakitan Kelistrikan.....	82
Lampiran 3 Desain <i>Compressed Air Gravity Energy Storage</i> (CA-GES)	83
Lampiran 4 Bentuk Prototype CA-GES.....	84
Lampiran 5 Cetak 3D Printing Turbin Crossflow	84
Lampiran 6 Proses Pengelasan Meja.....	85
Lampiran 7 Hasil 3D Print Seluruh Variasi Jumlah <i>Blade</i>	85
Lampiran 8 Perhitungan <i>Charging</i>	86
Lampiran 9 Perhitungan <i>Discharging</i>	88



Intelligentia - Dignitas