

**SISTEM TANGKI SIRKULASI TURBIN VORTEX
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PIKOHIDRO**

TESIS



Reza Huwae

55818120003

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DIREKTORAT PASCA SARJANA
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2020**

**SISTEM TANGKI SIRKULASI TURBIN VORTEX
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PIKOHIDRO**

TESIS

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program
Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Mesin



Reza Huwae

55818120003

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DIREKTORAT PASCA SARJANA
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2020**

PENGESAHAN TESIS

Judul : Sistem Tangki Sirkulasi Turbin Vortex untuk Pembangkit Listrik
Tenaga Pikohidro

Nama : Reza Huwae

NIM : 55818120003

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Tanggal : 27 Agustus 2020



Mengesahkan,

Pembimbing

UNIVERSITAS
MERCUBUANA

(Dr. Deni Shidqi Khaerudini S.Si., M.Eng.)

Direktur
Program Pascasarjana

(Prof. Dr. Ing. Mudrik Alaydrus)

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

(Sagir Alva S.Si., M.Sc., Ph.D)

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama : Reza Huwae
NIM : 55818120003
Jurusan : Magister Teknik Mesin
Fakultas : Pascasarjana
Judul Tesis : SISTEM TANGKI SIRKULASI TURBIN VORTEX UNTUK
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan tugas akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan laporan tugas akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan laporan tugas akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 27 Agustus 2020



Reza Huwae

PERNYATAAN *SIMILARITY CHECK*

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh

Nama : Reza Huwae
NIM : 55818120003
Program Studi : Magister Teknik Mesin

dengan judul,

“A PARAMETRIC of BASIN GEOMETRY of GRAVITATIONAL WATER VORTEX POWER PLANT”

telah dilakukan pengecekan *similarity* dengan sistem Turnitin pada tanggal 27 Agustus 2020, didapatkan nilai dengan persentase sebesar 15%.

Jakarta, 27 Agustus 2020

Administrator Turnitin

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Arie Pangudi, A.Md

DEDIKASI

Tesis ini dipersembahkan untuk istriku, Maria Nila Kirana serta anak-anakku, Anastasia Sekar Mirah dan Mikaela Sekar Langit. Terima kasih sudah memberikan semangat dalam menyelesaikan studi program pasca sarjana ini. Semoga menjadi penyemangat untuk kedua anakku kelak dalam mengejar cita-citanya.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan berkah-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis. Maksud dari penyusunan tesis ini adalah sebagai syarat dalam menyelesaikan studi pada program Pasca Sarjana Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana. Bimbingan, dorongan dan bantuan bapak dan ibu dosen, teman, serta ketulusan hati dan keramahan sangat membantu dalam penyusunan tesin ini dengan harapan agar tercapai hasil yang sebaik mungkin dan dapat digunakan sebaik-baiknya untuk memajukan capaian energi terbarukan. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ngadino Surip, MS, Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Mudrik Alaydrus dan Bapak Dr. Yudhi Herliansyah, M.Si sebagai Direktur dan Wakil Direktur dari Direktorat Pasca Sarjana Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Sagir Alva, Ph.D., Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Dafit Feriyanto Ph.D., Sekretaris Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Dr. Deni Shidqi Khaerudini, S.Si, M. Eng., pembimbing pertama dalam pengerjaan tesis dan Bapak Anjar Susatyo, S.T., pembimbing kedua dalam pengerjaan tesis dan pembimbing teknis dalam program bimbingan P2 Telimek LIPI Bandung.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang juga telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis miliki. Oleh karena itu penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tesis ini bermanfaat dan dapat digunakan sebagai tambahan informasi bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Jakarta, 5 September 2020

Reza Huwae

ABSTRAK

Laju pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat tajam membawa dampak kebutuhan energi meningkat. Ketergantungan pada sumber energi fosil yang sudah makin menipis mengharuskan untuk menggunakan energi baru dan terbarukan (EBT) pada bauran energi primer. Selain itu penggunaan EBT dapat mengurangi emisi karbon yang menyebabkan pemanasan global. Tenaga air merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Hasil identifikasi yang telah dilakukan bahwa Indonesia mempunyai potensi sumber tenaga air yang sangat besar. Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) dengan menggunakan turbin vortex dalam sistem pembangkitan *gravitational water vortex power plant* (GWVPP) sangat ideal untuk meningkatkan kontribusi EBT pada bauran energi primer. Keunggulannya dapat bekerja pada tinggi jatuh air yang rendah sekitar 40 cm dan memiliki konstruksi yang sederhana. Namun belum dapat dialokasikan karena efisiensi daya yang masih rendah. Hasil penelitian dari peneliti terdahulu menyimpulkan bahwa bentuk geometri tangki sirkulasi yang baik menggunakan bentuk konikal serta menggunakan turbin aksial. Dengan menggunakan simulasi numerik komputasi fluida dinamik, pada penelitian ini membandingkan parameter geometris tangki sirkulasi berbentuk silinder dan konikal. Dengan menganalisa distribusi tekanan dan kecepatan pada beberapa tinggi jatuh air di dalam tangki sirkulasi terutama pada saluran keluar tangki sirkulasi. Dengan menggunakan metodologi yang sama dilakukan perbandingan distribusi tekanan dan kecepatan pada tangki sirkulasi dengan geometri silindris dan spiral. Hasil yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan bahwa menggunakan geometri spiral untuk tangki sirkulasi menunjukkan *vortex* yang terbentuk lebih simetris dan distribusi kecepatan pada saluran keluar menjadi tiga kali lebih besar dibandingkan dengan kecepatan pada saluran masuk. Dengan menggunakan geometri spiral ini maka sudut masuk aliran fluida arah tangensial akan lebih seragam. Selain itu perbandingan diameter saluran keluar dan diameter tangki sirkulasi merupakan parameter geometris yang tidak menentukan ukuran tangki sirkulasi, tapi luas permukaan saluran masuk adalah parameter geometris penting yang secara tidak langsung akan menentukan ukuran diameter tangki sirkulasi yang dibutuhkan. Panjang lintasan aliran fluida dalam tangki sirkulasi menjadi parameter dalam perencanaan tangki sirkulasi, hal ini diwakili oleh tinggi tangki sirkulasi dan posisi ketinggian saluran masuk pada tangki sirkulasi dengan rasio tidak sama dengan satu, serta geometri tangki sirkulasi itu sendiri.

Kata Kunci: Energi terbarukan, pikohidro, turbin *vortex*, *gravitational vortex*, tinggi jatuh air rendah, tangki sirkulasi *vortex*, tangki sirkulasi spiral

ABSTRACT

Increment of population growth rate and significant economic growth which continue to increase sharply has an impact on increasing energy demand. Dependence on the depleting fossil energy sources requires the use of new and renewable energy (RE) in the primary energy mix. In addition, the use of RE can reduce carbon emissions that cause global warming on our earth. Hydropower is one of few renewable energy sources. Identification result which has been carried out that Indonesia has a very large potential for hydropower sources, however mapping for low head hydropower potential sources has not been done. The pico-hydro power plant (PLTPH) using a vortex turbine in the gravitational water vortex power plant (GWVPP) generation system is an ideal generation system for increasing the RE contribution in primary energy mix. The advantage is that it can work at low head of water of about 40 cm and has a simple construction. However, it has not yet been published because of the low power efficiency. The results of research from previous researchers concluded that the good geometric shape of the circulation tank uses a conical shape and uses an axial turbine. The results of research from previous researchers concluded that the good geometric shape of the circulation tank uses a conical shape and uses an axial turbine. By using numerical simulations of Computational Fluid Dynamic (CFD), this study compares geometrical parameters of cylindrical and conical circulation tanks. By analyzing the distribution of pressure and velocity at several depth of water in the circulation tank, especially at the outlet of the circulation tank. Using the same methodology, the pressure and velocity distribution comparisons are made in the circulation tank for cylindrical and spiral geometries. The results obtained from the simulations carried out that using spiral geometry for the circulation tank show that the vortex formed is more symmetrical and the velocity distribution at the outlet is three times greater than the velocity at the inlet. By using this spiral geometry, entry angle of the fluid flow in the tangential direction is uniform. In addition, the comparison of the outlet diameter and the circulation tank diameter is a geometric parameter that does not determine the size of the circulation tank, but the inlet surface area is an important geometric parameter that will indirectly determine the required diameter size of the circulation tank. The pathline of the fluid flow in the circulation tank is a parameter in the planning of the circulation tank, it is represented by the height of the circulation tank and the position of the inlet height in the circulation tank with a ratio not equal to one, as well as the geometry of the circulation tank itself.

Keywords: *Renewable energy, pico-hydro, vortex turbine, gravitational vortex, low head, vortex circulation tank, spiral circulation tank*

DAFTAR ISI

SISTEM TANGKI SIRKULASI TURBIN VORTEX UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO	
PENGESAHAN TESIS	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PERNYATAAN <i>SIMILARITY CHECK</i>	iv
DEDIKASI	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	4
1.4. KEBARUAN	4
1.5. BATASAN MASALAH	5
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. SKEMATIK SISTEM PEMBANGKITAN LISTRIK TENAGA AIR	7
2.2. KLASIFIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR	8
2.2.1. Kriteria Berdasarkan Sistem <i>Layout</i>	9
2.2.2. Kriteria Kapasitas Daya	12
2.2.3. Kriteria Tinggi Jatuh Air atau <i>Head</i>	13
2.3. KLASIFIKASI JENIS TURBIN AIR BERDASARKAN <i>INLET</i>	14
2.4. APLIKASI TURBIN PADA <i>HEAD</i> RENDAH	18
2.5. <i>SMALL LOW HEAD HYDROPOWER</i>	19
2.6. TINJAUAN TEORITIS	23
2.6.1. Energi Potensial Air	23

2.6.2.	Daya Keluaran Turbin	24
2.7.	<i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)</i>	25
2.7.1.	Perkembangan CFD	25
2.7.2.	Antarmuka CFD	25
2.7.3.	Persamaan Pembentuk Aliran	26
2.8.	TINJAUAN PENELITIAN TERDAHULU	27
2.8.1.	Saluran Masuk	27
2.8.2.	Tangki Sirkulasi	29
2.8.3.	Saluran Keluar	30
2.9.	METODE ANALISIS	31
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	34
3.1.	RASIO DIAMETER SALURAN MASUK TERHADAP DIAMETER TANGKI SIRKULASI	34
3.1.1.	Permodelan	34
3.1.2.	Kondisi Batas Model	35
3.2.	KEDALAMAN SALURAN MASUK PADA TANGKI SIRKULASI	36
3.2.1.	Permodelan	36
3.2.2.	Kondisi Batas Model	37
3.3.	PERBANDINGAN TANGKI SIRKULASI GEOMETRI SILINDRIS DAN GEOMETRI SPIRAL	38
3.3.1.	Permodelan	38
3.3.2.	Kondisi Batas Model	40
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1.	RASIO DIAMETER SALURAN MASUK TERHADAP DIAMETER TANGKI SIRKULASI	41
4.2.	KEDALAMAN SALURAN MASUK PADA TANGKI SIRKULASI	44
4.3.	PERBANDINGAN TANGKI SIRKULASI GEOMETRI SILINDRIS DAN GEOMETRI SPIRAL	47
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1.	KESIMPULAN	53
5.2.	SARAN	55
	DAFTAR PUSTAKA	56
	LAMPIRAN A	59

LAMPIRAN B	63
LAMPIRAN C	65
LAMPIRAN D	66
LAMPIRAN E	79
VITA	



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 2.1. Klasifikasi pembangkit listrik berdasarkan kriteria kapasitas daya	13
Tabel 2.2. Klasifikasi pembangkit listrik dari tenaga air	14
Tabel 2.3. Multi kriteria pemilihan turbin	18
Tabel 3.1. Parameter data model tangki sirkulasi	35
Tabel 3.2. Parameter model perbedaan tinggi tangki sirkulasi	37
Tabel 3.3. Parameter model tangki sirkulasi silindris dan spiral	40
Tabel 4.1. Rasio perbandingan d/D model RH1 sampai dengan RH6	41
Tabel 4.2. Rasio perbandingan tinggi air saluran masuk dan tangki sirkulasi	45



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

	Hal.	
Gambar 2.1.	Skematik sistem pembangkit listrik dengan tenaga air	8
Gambar 2.2.	Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air	9
Gambar 2.3.	Skematik diagram sistem pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan bendungan	10
Gambar 2.4.	Skematik diagram sistem pembangkit listrik tenaga air dengan sistem <i>run-off</i>	10
Gambar 2.5.	Sistem pembangkit listrik tenaga air dengan sistem <i>pumped-storage</i>	11
Gambar 2.6.	Sistem pembangkit listrik tenaga air dengan sistem <i>in-stream</i>	12
Gambar 2.7.	Tinggi jatuh air atau head dalam pembangkit listrik tenaga air	13
Gambar 2.8.	Klasifikasi jenis turbin air berdasarkan energi <i>inlet</i>	15
Gambar 2.9.	Jenis-jenis turbin impulse	16
Gambar 2.10.	Jenis-jenis turbin reaksi	17
Gambar 2.11.	Turbin archimedes screw	17
Gambar 2.12.	Turbin vortex	18
Gambar 2.13.	Grafik aplikasi pemilihan turbin	19
Gambar 2.14.	Tinjauan penelitian tentang GWVPP tahun 2017	21
Gambar 2.15.	Tinjauan penelitian tentang GWVPP pada tahun 2018	22
Gambar 2.16.	Skematik tangki sirkulasi aliran vortex permukaan bebas	33
Gambar 3.1.	Geometri parameter model tangki sirkulasi	34
Gambar 3.2.	Meshing model tangki sirkulasi	35
Gambar 3.3.	Geometri model perbedaan tinggi tangki sirkulasi	36
Gambar 3.4.	Meshing model perbedaan tinggi tangki sirkulasi	37
Gambar 3.5.	Geometri model tangki sirkulasi silindris dan spiral	38
Gambar 3.6.	Koordinat polar dan koordinat kartesian pada model tangki sirkulasi spiral	39
Gambar 3.7.	<i>Meshing</i> jenis tangki sirkulasi silindris dan spiral	40

Gambar 4.1.	Visualisasi hasil simulasi numerik model RH1 sampai dengan RH6	42
Gambar 4.2.	Plot grafik kenaikan kecepatan model RH1 sampai dengan RH6 pada permukaan saluran keluar dengan kedalaman 1 meter	43
Gambar 4.3.	Visualisasi hasil simulasi numerik model RHA sampai dengan RHD	46
Gambar 4.4.	Plot grafik kenaikan kecepatan model RHA dsampai dengan RHD pada permukaan saluran keluar dengan kedalaman 1,2 meter	47
Gambar 4.5.	Visualisasi hasil simulasi numerik model RHA dan RHS	48
Gambar 4.6.	Visualisasi vortex pada tangki sirkulasi silindris dan spiral	49
Gambar 4.7.	Plot grafik kenaikan kecepatan air model RHA dan model RHS pada permukaan saluran keluar dengan kedalaman 1,2 meter	49
Gambar 4.8.	Distribusi tekanan model RHS dan kontur kecepatan model RHS dan RHA pada bidang sumbu xz, kedalaman $y=0,1$ meter	50
Gambar 4.9.	Distribusi tekanan model RHS dan kontur kecepatan model RHS dan RHA pada bidang sumbu xz, kedalaman $y=0,8$ meter	51
Gambar 4.10.	Distribusi tekanan model RHS dan kontur kecepatan model RHS dan RHA pada bidang sumbu xz, kedalaman $y=1,0$ meter	51
Gambar 4.11.	Distribusi tekanan model RHS dan kontur kecepatan model RHS dan RHA pada bidang sumbu xz, kedalaman $y=1,05$ meter	52
Gambar 4.12.	Distribusi tekanan model RHS dan kontur kecepatan model RHS dan RHA pada bidang sumbu xz, kedalaman $y=1,2$ meter	52

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
a_c	Diameter kritis permukaan <i>vortex</i> pada saluran keluar
d	Diameter saluran keluar
D	Diameter <i>basin</i>
d/D	Rasio diameter saluran keluar dan diameter <i>basin</i>
E	Energi total
g	Percepatan gravitasi
h	<i>Head</i>
h_{inlet}/h_{basin}	Rasio kedalaman saluran masuk terhadap <i>head basin</i>
m	massa
n	eksponen
P	Daya keluaran
Q	Debit aliran
r_d	Radius saluran masuk
t	waktu
T	Torsi
V	Volume
V_θ	Kecepatan tangensial
V_r	Kecepatan radial
v_r	Kecepatan komponen arah radial
V_z	Kecepatan komponen pada arah z
Γ	Sirkulasi
Γ_∞	Medan sirkulasi
λ	Fraksi diameter pusaran dan diameter saluran masuk
π	Konstanta matematika pi – 3,14
ρ	Rapat massa
ω	Kecepatan putar
∂	Operator parsial
Singkatan	Keterangan
BPS	Badan Pusat Statistik
CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i> atau Dinamika Fluida Komputasi

EBT	Energi Baru dan Terbarukan
EBTKE	Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi
GWVPP	<i>Gravitational Water Vortex Power Plant</i>
IPP	<i>Independent Power Producer</i>
KESDM	Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral
MTOE	<i>Millions Ton of Oil Equivalent</i>
OEI	<i>Outlook Energy Indonesia</i>
RENSTRA	Rencana Strategis
Nomenklatur	Keterangan
RH1	Model kesatu pada simulasi perbandingan diameter saluran keluar dan diameter basin
RH2	Model kedua pada simulasi perbandingan diameter saluran keluar dan diameter basin
RH3	Model ketiga pada simulasi perbandingan diameter saluran keluar dan diameter basin
RH4	Model keempat pada simulasi perbandingan diameter saluran keluar dan diameter basin
RH5	Model kelima pada simulasi perbandingan diameter saluran keluar dan diameter basin
RH6	Model keenam pada simulasi perbandingan diameter saluran keluar dan diameter basin
RHA	Model jenis A pada simulasi perbandingan <i>head inlet</i> dan <i>head basin</i>
RHB	Model jenis B pada simulasi perbandingan <i>head inlet</i> dan <i>head basin</i>
RHC	Model jenis C pada simulasi perbandingan <i>head inlet</i> dan <i>head basin</i>
RHD	Model jenis D pada simulasi perbandingan <i>head inlet</i> dan <i>head basin</i>
RHS	Model jenis basin dengan kontur spiral equiangular pada simulasi aliran vortex pada basin
Terminologi	Keterangan
<i>Archimedes screw</i>	Sebuah poros yang mempunyai penampang berbentuk sekerup pada permukaannya
Bak penenang	Penampung air ukuran besar untuk mencegah turbulensi
<i>Basin</i>	Suatu wadah buatan berbentuk baskom
Embung	Waduk berukuran mikro untuk menampung kelebihan air hujan

<i>head</i>	Tinggi jatuh air yang menunjukkan energi potensial
<i>Inlet</i>	Saluran masuk
<i>In-stream</i>	Suatu posisi atau letak suatu obyek yang diletakan didalam aliran
Kanal	Saluran atau terusan buatan
K-epsilon	Suatu model turbulen yang digunakan pada CFD
<i>Meshing</i>	Proses diskritisasi domain fluida yang kontinyu menjadi domain komputasi fluida
Metode Spektral	Metode penyelesaian numerik dari persamaan diferensial atau parsial biasa
Pipa pesat	Kanal bertekanan mekanis tinggi untuk menyalurkan air ke turbin
<i>River-off</i>	Suatu percabangan menjadi distribusi baru yang lebih kecil yang berasal dari saluran utama
<i>Spiral Equiangular</i>	Kumpulan titik yang berputar pada satu titik pusat menjadi suatu kurva yang memotong semua vektor jari-jarinya pada sudut yang sama
<i>Vortex</i>	Aliran fluida yang berputar pada sebuah sumbu imajiner

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
LAMPIRAN A.1. KOORDINAT KARTESIAN MODEL RHS PADA PEMBUATAN MODEL CAD	59
LAMPIRAN A.2. DATA PLOT KONTUR KECEPATAN PADA BIDANG SUMBU XZ, Y=0 UNTUK MODEL RH1 SAMPAI DENGAN MODEL RH6 MENGGUNAKAN CFD ANSYS FLUENT	60
LAMPIRAN A.3. DATA PLOT KONTUR KECEPATAN PADA BIDANG SUMBU XZ, Y=0 UNTUK MODEL RHA SAMPAI DENGAN MODEL RHD MENGGUNAKAN CFD ANSYS FLUENT	61
LAMPIRAN A.4. DATA PLOT KONTUR KECEPATAN PADA BIDANG SUMBU XZ, Y=0 UNTUK MODEL RHA DAN MODEL RHA MENGGUNAKAN CFD ANSYS FLUENT	62
LAMPIRAN B.1. KARTU ABSENSI TESIS	63
LAMPIRAN C.1. PERSETUJUAN PERBAIKAN TESIS	65
LAMPIRAN D.1. PENGECEKAN <i>SIMILARITY</i>	66
LAMPIRAN D.2. ARTIKEL ILMIAH NASIONAL / INTERNASIONAL 1 TERKAIT GWVPP	73
LAMPIRAN D.3. ARTIKEL ILMIAH NASIONAL / INTERNASIONAL 2 TERKAIT GWVPP	75
LAMPIRAN D.4. ARTIKEL ILMIAH NASIONAL / INTERNASIONAL 3 TERKAIT GWVPP	77
LAMPIRAN E.1. 2020 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY ENGINEERING AND APPLICATION (ICSEEA)	79
LAMPIRAN E.2. JADWAL PRESENTASI ARTIKEL ILMIAH PADA 2020 ICSEEA	80
LAMPIRAN E.3. SERTIFIKAT <i>PRESENTER</i>	85