SKRIPSI

ANALISIS PENDEKATAN SEGITIGA KECEPATAN DAN PENGUJIAN EKSPERIMENTAL TURBIN TURGO SKALA PIKO

ANDRE BRILIAN HIDAYATULLAH

03051181823001

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

SKRIPSI

ANALISIS PENDEKATAN SEGITIGA KECEPATAN DAN PENGUJIAN EKPERIMENTAL TURBIN TURGO SKALA PIKO

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh
ANDRE BRILIAN HIDAYATULLAH
03051181823001

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENDEKATAN SEGITIGA KECEPATAN DAN PENGUJIAN EKSPERIMENTAL TURBIN TURGO SKALA PIKO

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
ANDRE BRILIAN HIDAYATULLAH
03051181823001

Indralaya, Maret 2022

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing,

Dr. Dendy Adanta S.Pd.,M.T.
NIP. 199306052019031016

JURUSAN TEKNIK MESIN	**Agenda No.**	: 030/TM/AK/2022
FAKULTAS TEKNIK	**Diterima Tanggal**	: 24-03-2022
UNIVERSITAS SRIWIJAYA	**Paraf**	:

SKRIPSI

NAMA	:	ANDRE BRILIAN HIDAYATULLAH
NIM		03051181823001
JUDUL SKRIPSI	:	ANALISIS PENDEKATAN SEGITIGA KECEPATAN DAN PENGUJIAN EKPERIMENTAL TURBIN TURGO SKALA PIKO
DIBUAT TANGGAL	:	8 AGUSTUS 2021
SELESAI TANGGAL	:	12 MARET 2022

Indralaya, Maret 2022

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing,

Dr. Deny Adanta S.Pd.,M,T.
NIP. 199306052019031016

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "Analisis Pendekatan Segitiga Kecepatan dan Pengujian Eksperimental Turbin Turgo Skala Piko" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 30 Maret 2022

Indralaya, April 2022

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Prof. Ir. Hasan Basri, Ph.D (.....)
   NIP.195802011984031002

Sekretaris:

2. Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T. (.....)
   NIP.197207162006404100 2

Anggota:

3. Ir. Dyos Santoso, M.T. (.....)
   NIP.196012231997021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Indralaya, April 2022
Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi

Dr. Dendy Adanta, S.Pd.,M,T.
NIP. 199306052019031016

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik yang berjudul "Analisis Pendekatan Segitiga Kecepatan dan Pengujian Eksperimental Turbin Turgo Skala Piko".

Penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini tentunya dengan mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak-pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Jalaludin dan Nirwana, kedua orang tua penulis yang telah memberikan do'a dan dukungan
2. Anjani Claudia Pratiwi, S.Psi dan Rengganis Arumi Prabaswari, saudara penulis yang telah menemani dalam proses Pendidikan
3. Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T. dan Ir. Firmansyah Burlian., M.T. selaku dosen pembimbing
4. Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA selaku dosen pembimbing akademik
5. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D dan Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
6. Gunawan, S.T., M.T., Ph.D selaku Pembina Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
7. Seluruh Dosen, jajaran staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
8. Bahrul Arkani Arifin, S.T. dan rekan-rekan Beasiswa Generasi Harapan Sinergi Sriwijaya Peduli
9. Rekan-rekan HMM FT UNSRI dan KM FT UNSRI yang telah berjuang dan membantu dalam proses Pendidikan di Universitas Sriwijaya
10. *Hydropower Research Group* Univeristas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses penelitian

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan karena adanya keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, saran yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini kedepannya

akan sangat membantu dalam perbaikan dan penyempurnaan skripsi. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Indralaya, 30 Maret 2022

Andre Brilian Hidayatullah

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	:	Andre Brilian Hidayatullah
NIM	:	03051181823001
Judul	:	Analisis Pendekatan Segitiga Kecepatan dan Pengujian Eksperimental Turbin Turgo Skala Piko

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, 30 Maret 2022

Andre Brilian Hidayatullah

NIM. 03051181823001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andre Brilian Hidayatullah

NIM : 03051181823001

Judul : Analisis Pendekatan Segitiga Kecepatan dan Pengujian Eksperimental Turbin Turgo Skala Piko

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, saya buat pernyataan ini dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, 30 Maret 2022

METERAI TEMPEL

Andre Brilian Hidayatullah

NIM. 03051181823001

RINGKASAN

ANALISIS PENDEKATAN SEGITIGA KECEPATAN DAN PENGUJIAN EKSPERIMENTAL TURBIN TURGO SKALA PIKO

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Maret 2022

Andre Brilian Hidayatullah: dibimbing oleh Dr. Dendy Adanta S.Pd., M.T., IPP.

ANALISIS PENDEKATAN SEGITIGA KECEPATAN DAN PENGUJIAN EKSPERIMENTAL TURBIN TURGO SKALA PIKO

XXIX+85 Halaman, 3 Tabel, 15 Gambar

RINGKASAN

Dalam upaya peningkatan rasio eletrifikasi di Indonesia, energy baru terbarukan prospektif untuk dimanfaatkan. Potensi energi air Indonesia mencapai 19 GW untuk skala rendah dan 75 GW untuk skala besar. Karenanya teknologi konversi energi air menjadi energi listrik perlu menjadi perhatian khusus. Dari hasil kajian, turbin Turgo merupakan turbin yang tepat untuk konversi energi air skala piko (< 5 kW). Turbin Turgo dianggap tepat karena desain sederhana, kontruksi sederhana, dan biaya investasi yang rendah. Oleh karena itu, turbin Turgo skala piko direkomendasikan untuk elektrifikasi daerah terpencil di Indonesia. Meskipun telah lama dikembangkan namun belum adanya keputusan final tentang parameter optimum sudut jet dan sudut sudu turbin Turgo skala piko. Selain itu, teknologi manufaktur yang presisi untuk manufaktur sudu turbin Turgo belum mendapat perhatian khusus. Karenanya, studi ini bertujuan mengevaluasi sudut jet dan geometri sudu turbin Turgo skala piko menggunakan analisis segitiga kecepatan, kemudian desain sudu hasil analitis matematis dimanufaktur menggunakan mesin pencetak tiga dimensi untuk uji performa.

Hasil analitik menunjukkan sudut masuk dan keluar mempengaruhi parameter penilian pada turbin turgo dengan menunjukkan nilai parameter terbaik $\alpha_1$dan β_2 masing-masing 10° dan 20° dengan kemiringan sudu 15°. Lebih lanjut, dari hasil eksperimen, pencetakan sudu turbin Turgo skala piko menggunakan mesin pencetak tiga dimensi adalah direkomendasikan. Hal ini karena efisiensi maksimum adalah 25% dengan beban 5 Watt, *nozzle* 8 mm, dan bukaan *valve* 30°. Kondisi ini lebih baik dari studi sebelumnya yang menggunakan batok kelapa sebagai material sudu dimana efisiensi puncak adalah 22%. Lebih lanjut, dari hasil perhitungan dan data eksperimental deviasi rata-rata analitik dengan eksperimental adalah 6.6%. Dengan demikian, analitik matematis menggunakan pendekatan segitiga kecepatan yang dilakukan terverifikasi dan tervalidasi.

Kata Kunci : Pikohidro, Turbin Turgo, Sudu, Mesin Pencetak Tiga Dimensi

SUMMARY

SPEED TRIANGLE APPROACH ANALYSIS AND EXPERIMENTAL TESTING PIKO SCALE TURGO TURBINE

Scientific Writing in the form of Thesis, March 2022

Andre Brilian Hidayatullah, supervised by Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T., IPP.

SPEED TRIANGLE APPROACH ANALYSIS AND EXPERIMENTAL TESTING PIKO SCALE TURGO TURBINE

XXIX+85 page, 3 table, 15 figure

SUMMARY

Renewable energy is prospective to be utilized to increase the electrification ratio in Indonesia. Energy potential reaches 19 GW for low scale and 75 GW for large scale. Therefore, converting water energy into electrical energy needs special attention. The study results show that the Turgo turbine is suitable for pico scale water energy conversion (< 5 kW). Turgo turbines are considered appropriate because of their simple design, simple construction, and low investment costs. Therefore, the pico scale Turgo turbine is recommended for electrification of remote areas in Indonesia. Although it has been developed for a long time, there is no final decision on the optimum parameters of the jet angle and the turbine blade angle of the pico scale Turgo. In addition, the precise manufacturing technology for manufacturing Turgo turbine blades has not received special attention. Therefore, this study aims to evaluate the jet angle and geometry of the Piko scale Turgo turbine blades using speed triangle analysis. For performance testing, the mathematically analytical blade designs are manufactured using a three-dimensional printing machine. The analytical results show that the inlet and outlet angles affect the judging parameters on the Tugo turbine by showing the best parameter values α_1 and β_2 respectively 10° and 20° with a blade slope of 15°. Furthermore, the experimental results

recommend printing a Turgo turbine blade on a pico scale using a three-dimensional printing machine. The maximum efficiency is 25% with 5 Watt load, 8 mm nozzle, and 30° valve opening. This condition is better than the previous study, which used coconut shell as a blade material where the peak efficiency was 22%. Furthermore, from the results of calculations and experimental data, the average deviation of the analytic with the experimental is 6.6%. Thus, mathematical analysis using the velocity triangle approach was verified and validated.

Keywords : Picohydro, Turgo Turbine, Blade Geometry, Jet Angle

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... **v**

HALAMAN PERSETUJUAN ..... **xi**

KATA PENGANTAR ..... **xiii**

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..... **xv**

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS ..... **xvii**

RINGKASAN ..... **xix**

SUMMARY ..... **xxi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xxvii**

DAFTAR TABEL ..... **xxix**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xxxi**

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Studi Literatur 5

1.3 Rumusan Masalah 8

1.4 Batasan Masalah 9

1.5 Tujuan Penelitian 9

1.6 Manfaat Penelitian 10

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Turbin Air 11

2.1.1 Pengertian Turbin Air 11

2.1.2 Klasifikasi Turbin Air 11

2.2 Potensi Energi Air 12

2.3 Analisis Segitiga Kecepatan 13

2.3.1 Inlet 13

2.3.2 Outlet 17

2.4 Analisis Perubahan Momentum 19

2.5 Analisis Geometri *Runner* 20

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Metode Analitik 23

3.2 Metode Eksperimen 24

3.2.1 Ekperimental Setup 24

3.2.2 Geometri Sudu 26

3.2.3 Rancang Bangun Alat Ukur 26

3.2.4 Verifikasi Alat Ukur 30

3.3 Hasil Verifikasi Alat Ukur 32

3.4 Manufaktur Sudu Menggunakan *3D-Print* 41

3.5 Waktu dan Tempat Kegiatan 41

BAB 4 HASIL DAN DISKUSI

4.1 Hasil 43

4.1.1 Hasil Analtik 43

4.1.2 Pembahasan Hasil Analitik 49

4.1.3 Hasil Eksperimental 52

4.1.4 Komparasi Hasil Analitik dengan Eksperimental 59

4.1.5 Komparasi Terhadap Studi Sebelumnya 60

4.2 Diskusi 60

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....

5.2 Saran .....

DAFTAR RUJUKAN 65

LAMPIRAN 68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kecepatan mutlak air keluar dari nozel 14
Gambar 2.2 Kecepatan relatif air masuk sudu (W1) 15
Gambar 2.3 Sudut β1 dan β1′ 15
Gambar 2.4 Tinjauan C1 terhadap sumbu Y (C1r) 15
Gambar 2.5 Sudut γ 16
Gambar 2.6 Tinjauan sudut masuk turbin Turgo 17
Gambar 2.7 Kecepatan air keluar pada sudu 18
Gambar 2.8 Tinjauan C2 terhadap sumbu X dan Y (C2x dan C2r) 19
Gambar 2.9 Skematik Segitiga Kecepatan pada Sudu 22
Gambar 3.1 *Flow Chart* Perancangan Turbin Turgo 24
Gambar 3.2 *Experimental Setup* 25
Gambar 3.3 Perancangan dan Verifikasi Alat Ukur 28
Gambar 3.4. Skematik Rangkaian Alat Ukur 30
Gambar 3.5. Verifikasi data tachometer Arduino 35
Gambar 3.6. Verifikasi *flow meter* Arduino Uno 37
Gambar 3.7. Verifikasi data multimeter 40
Gambar 4.1 Grafik Hubungan β2 Terhadap ΔCx 43
Gambar 4.2 Grafik Hubungan β2 Terhadap ΔCx′ 44
Gambar 4.3 Grafik Hubungan β2 Terhadap ṁ2 dan ṁ2′ 45
Gambar 4.4 Grafik Hubungan α1dan β2 Terhadap Pmech 46
Gambar 4.5 Grafik Hubungan α1dan β2 Terhadap τ 47
Gambar 4.6 Grafik Hubungan α1dan β2 Terhadap η 48
Gambar 4.7 Grafik Hubungan $\alpha 1$ Terhadap r 49
Gambar 4.8 Proses manufaktur dan hasil pencetakan sudu turbin Turgo 51
Gambar 4.9 Hubungan P_{pot} terhadap V_{jet} 52
Gambar 4.10 Hubungan V (V_{dc}) terhadap n (rpm) 53
Gambar 4.11 Hubungan I (mA) terhadap n (rpm) 54
Gambar 4.12 Hubungan P_{gen} terhadap n (rpm) 55

Gambar 4.13 Hubungan P_{pot} terhadap n (rpm) 56
Gambar 4.14 Hubungan η terhadap n..... 57
Gambar 4.15 Hubungan η terhadap Re 58
Gambar 4.16 Pengujian turbin turgo (Dokumentasi Pribadi)..... 59
Gambar 4.17 Komparasi Hasil Hasil Studi Sebelumnya..... 60

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Geometri dan Efisiensi. 6
Tabel 3.1 Perbandingan Pengukuran Tachometer 34
Tabel 3.2 Perbandingan pengukuran *flow meter* 37
Tabel 3.3 Perbandingan pengukuran arus menggunakan multimeter Arduino dan multimeter komersial 39
Tabel 3.4 Perbandingan pengukuran voltase menggunakan multimeter Arduino dan multimeter komersial 40
Tabel 3.5 Jadwal Kegiatan Riset 41
Tabel 4.1 Parameter Desain Turbin Turgo 50
Tabel 4.2 Data Komparasi Hasil Analitik dan Eksperimental 59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Data Analitik Perancangan Sudu Turbin Turgo 68
Lampiran 2. Perhitungan Data Ekperimental 74
Lampiran 3. Perhitungan Hasil Eksperimen Secara Analitik 75
Lampiran 4. Perhitungan Hasil Eksperimen Secara Analitik 77
Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Ilmiah 79
Lampiran 6. Desain Turbin Turgo 83

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi saat ini menjadi kebutuhan penting bagi ekonomi modern, kerena memungkinkan penyediaan penerangan, transportasi, dan produksi industri yang sebagian besar sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Akses kebutuhan energi yang dapat diandalkan dan terjangkau menjadi prioritas bagi masyarakat, pemerintah, dan industri seluruh dunia.

Sumber energi ekonomi global telah tumbuh lebih mahal selama beberapa dekade terakhir. Keadaan ini memungkinkan akan lebih menonjol dalam waktu dekat karena minyak dan gas akan semakin menipis untuk dimanfaatkan menjadi pasokan bahan bakar fosil. Perkiraan cadangan bahan bakar fosil tidak ada yang bisa memprediksi dengan tepat kapan pasokan bahan bakar fosil akan habis. Suatu saat bahan bakar fosil akan habis dan permintaan energi dunia tidak akan terpenuhi (Shafiee and Topal, 2009).

Permintaan energi dunia akan kebutuhan minyak bumi mencapai 40%. Pada tahun 2011, permintaan minyak bumi mencapai nilai 1,7%. Sedangkan, produksi minyak bumi hanya mencapai 0.9%. Keadaan ini diperparah juga dengan cadangan minyak yang semakin berkurang sehingga negara-negara termasuk Indonesia rentan terhadap krisis energi dunia (Kemenlu RI, 2012).

Minyak bumi yang diproduksi Indonesia selama 10 Tahun terakhir menunjukkan kecendrungan menurun, dari 346 juta barel (949 ribu bph) pada tahun 2009 menjadi 283 juta barel (778 ribu bph) di tahun 2018. Penurunan ini disebabkan oleh sumur-sumur produksi utama minyak bumi yang umumnya sudah tua, sementara produksi sumur baru relatif masih terbatas (Suharyati et al., 2019).

Keadaan produksi minyak bumi berbeda dengan produksi batubara di Indonesia. Perkembangan produksi batubara periode tahun 2009-2018

mengalami peningkatan sebesar 557 juta ton (Suharyati et al., 2019). Namun, keadaan seperti ini tidak dapat dijadikan acuan bahwa kebutuhan energi Indonesia akan aman. Batubara merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui dan tentunya akan mengalami penurunan seiring dengan penggunaan dalam memenuhi kebutuhan energi. Dalam upaya pemenuhan kebutuhan energi dimasa yang akan datang. Potensi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi cukup besar. Tentu Indonesia perlu melakukan penelitian serta pengembangan teknologi berkaitan dengan sumber daya alam (Suharyati et al., 2019).

Klasifikasi energi sumber daya alam secara umum dapat dibagi menjadi sumber daya alam yang dapat diperbarui *(renewable resource)* dan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui *(non-renewable resource/deplectable resource)*. Sumber daya alam yang dapat diperbarui merupakan sumber daya alam yang dapat terus menerus tersedia sebagai input produksi dengan tanpa batas waktu. Air, Matahari, dan Panas Bumi termasuk dalam sumber daya alam yang dapat diperbarui. Sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui adalah sumber daya alam yang persediannya sebagai input produksi sangat terbatas dalam jangka waktu tertentu. Contoh nya seperti minyak bumi, batu bara, dan gas bumi.

Penggunaan bahan bakar fosil yang murah, berlimpah, dan dapat dengan mudah diubah menjadi energi. Tidak sepenuhnya memberikan dampak positif dari penggunaannya dalam memenuhi kebutuhan energi dunia. Pemanfaatan bahan bakar fosil ini telah mengakibatkan konsekuensi lingkungan yang serius, terutama terkait dengan polusi udara, dan perubahan iklim yang terjadi. Pada tahun 2015, Indonesia merupakan penghasil emisi gas rumah kaca tebesar keempat di dunia. Emisi gas rumah kaca tahunan Indonesia sebesar 2,4 miliar ton setara CO_2 pada 2015, menurut data yang dikumpulkan oleh Potsdam Institute for Climate Impact Research (CarbonBrief, 2019).

Pembangkit listrik dan kendaraan bermotor yang menghasilkan zat polutan yang menyebabkan pencemaran udara. Zat yang dapat menyebabkan pencemaran udara diantaranya: Karbon Dioksida (CO_2), Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Dioksida (NO_2), Hidrokarbon (HC). Chlorourocarbon (CFC), Timbal

(Pb), dan Partikular (PM_{10}). Zat Polutan ini menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia dan juga menyebabkan kerusakan lingkungan eksosistem.

Menipisnya sumber daya energi fosil akibat ketergantungan merupakan ancaman bagi ketahanan energi dunia. Indonesia sebagai negara yang memiliki sumber daya energi yang melimpah tentu harus mencari energi alternatif untuk memenuhi posokan energi dalam negeri. Potensi energi berbasis EBT yang dimiliki Indonesia antara lain: energi panas bumi dengan total potensi sebesar 29.000 MW; tenaga air skala besar sebesar 75.000 MW; energi angin sebesar 107.000 MW; energi laut sebesar 61.000 MW; tenaga bio-energi 34.000 MW; dan energi solar sebesar 560.000 MW (Serafika Gischa, 2020). Tentu dengan kekayaan sumber daya ini dapat mengatasi permasalahan pasokan listrik Indonesia.

Pengembangan pembangkit EBT sebagai komplementer energi berbasis fosil harus dikembangkan secara masif. Untuk mendukung terwujudnya kebijakan ini, pemerintah Indonesia melalui KESDM merumus kebijakan Kebijakan Energi Nasional (KEN) tahun 2006 menjadi Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) tahun 2017, dimana tahun 2025 komposisi persediaan energi nasional dari EBT adalah 25% (KESDM, 2017). Hal ini dilakukan sebagai upaya konsistensi, komitmen, dan perubahan pola pikir dari pemerintah dan seluruh masyarakat Indonesia bahwa sumber energi bukan hanya berasal dari energi fosil saja, melainkan juga air, gelombang laut, angin, dan matahari.

Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunya potensi energi baru terbarukan yang cukup besar. Total Potensi energi baru terbarukan ekuivalen 442 GW digunakan untuk pembangkit listrik, sedangkan BBN dan Biogas sebesar 200 ribu Bph digunakan untuk keperluan bahan bakar pada sektor transportasi, rumah tangga, komersial dan industri. Pemanfaatan EBT untuk pembangkit listrik tahun 2018 sebesar 8.8 GW atau 14% dari total kapasitas pembangkit listrik (fosil dan non fosil) yaitu sebesar 64.5 GW (Suharyati et al., 2019).

Potensi EBT di Indonesia yang begitu melimpah merupakan hal menguntungkan dan sebagai bekal dalam mewujudkan ketahanan energi

nasional. Namun, minimnya pemanfaatan EBT untuk ketenagalistrikan disebabkan masih relatif tingginya harga produksi pembangkit berbasis EBT, sehingga sulit bersaing dengan pembangkit fosil terutama batubara. Selain itu, kurangnya dukungan industri dalam negeri terkait komponen pembangkit energi terbarukan.

Terdapat solusi dalam mengatasi permaslahan dalam pengembangan EBT tersebut. Melihat dari keadaan geografis, keramahan dari suatu pembangkit listrik terhadap lingkungan, biaya pengembangan alat, dan efisiensi pembangkit listrik, turbin Impuls menjadi salah satu solusi yang tepat untuk dikembangkan. Mengingat kebutuhan masyarakat lokal terhadap pasokan energi listik tentunya juga menjadi pertimbangan dalam penentuan jenis pembangkit listrik.

Turbin impuls dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis utama: turbin Pelton, Turgo, dan Crossflow. Turbin impuls lebih populer dalam pemilihan PLTA mikro dari pada turbin reaksi karena lebih murah dan lebih mudah dirawat. Turbin impuls memiliki kerugian gesekan yang lebih rendah dari pada turbin reaksi. Hasil kecepatan spesifik turbin adalah 0,2051 pada produksi energi tahunan maksimum, yang berada di kisaran turbin Turgo dan Pelton. Kedua turbin cocok dalam hal ini karena laju aliran rendah dan *head* tinggi.

Turbin Turgo ditemukan dan dipatenkan pada tahun 1920 oleh Gilkes Ltd (Benzon et al., 2016). Turbin Turgo mirip dengan Pelton, tetapi turbin Turgo memiliki sudut serang jet sebesar 15-25°; air masuk ke *runner* di satu sisi dan keluar di sisi lain. Oleh karena itu, laju aliran tidak dibatasi oleh air yang dibuang mengganggu jet yang masuk (seperti halnya dengan turbin Pelton). Sebagai konsekuensinya, turbin Turgo memiliki diameter yang lebih kecil dari pada turbin Pelton (Sakulphan and Bohez, 2018).

Turbin Turgo bekerja dengan pertukaran energi yang didasarkan pada energi kinetik air yang masuk dan keluar turbin pada tekanan atmosfer. Turbin turgo dipatenkan oleh Eric Crewdon, pada tahun 1919. Operasi sistem kerja turbin turgo sama dengan sistem turbin pelton. Turbin Turgo lebih cocok untuk *head* medium dan beroperasi secara efisien pada berbagai tingkat aliran. Turbin Turgo dipilih karena memiliki keunggulan dibandingkan jenis turbin lainnya.

Turbin turgo memiliki kecepatan putar yang lebih tinggi. Kecepatan putar yang tunggi diperoleh dari jumlah sudu yang telah tersusun. Dalam segi fabrikasi, bentuk dari turbin turgo lebih mudah untuk dibentuk sehingga biaya yang dikeluarkan untuk perancangan turbin ini lebih murah dibandingkan dengan jenis turbin impuls lain.

Hasil studi dari Ekpedisi Papua Terang yang dilakukan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) merekomendasikan untuk menggunakan energi terbarukan dengan sistem off-grid di daerah-daerah yang tergolong terpencil (m. Hari Atmoko, 2019). Turbin pikohidro (<5 kW) adalah solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan pembangkit listrik di daerah terpencil (Budiarso et al., 2016).

Turbin piko hidro terdiri dari tiga komponen yaitu turbin, transmisi, dan generator. Kesederhanaan desain, kontruksi, serta biaya investasi turbin piko hidro jenis Turgo menjadi nilai utama untuk digunakan masyarakat daerah terpencil dan menjadi usulan yang tepat karena relatif murah, handal, dan cocok untuk head rendah (< 5 m)(Anagnostopoulos and Papantonis, 2007). Namun, belum adanya keputusan final tentang parameter optimum sudut jet dan sudut sudu turbin Turgo skala piko.

1.2 Studi Literatur

Turbin Turgo Impuls merupakan jenis pembangkit *hydropower*, solusi baik dalam peningkatan untuk kapasitas turbin impuls hidrolik dengan mempertahankan sistem injektor nozel (seperti yang digunakan dalam turbin Pelton) untuk regulasi aliran. Dari studi literatur dan eksperimental oleh Dr. AH Gibson menunjukkan maksimal efisiensi sebesar 83.5% pada *head* sebesar ekuivalen 60 m (200 feet), mengahasilkan 106 hp, di putaran 640 rpm. Selanjutnya, penelitian dan pengembangan oleh Ernest Jackson dari Chief Engineer Gilkes yang menghasilkan peningkatan efisiensi turbin, penelitian dan pengembangan independen pada tahun 1971-1973 yang menjelaskan teori

satu dimensi, pola aliran tipe jet dengan menggunakan Teknik grafis dan analisis aliran outlet secara eksperimental menghasilkan data yang menunjukkan perkembangan desain dan efisiensi yang baik (Benzon et al., 2016).

Turbin Turgo mendapatkan perhatian khusus karena potensi apilikasi pikohidro yang sangat besar. Umumnya pikohidro diaplikasikan pada aliran sungai, yang berarti tidak memerlukan dam atau bendungan. Cara kerja seperti ini membuat penggunaan air lebih maksimal dan sesuai kebutuhan serta air yang digunakan untuk menggerakkan turbin akan kembali ke sungai. Penelitian terbaru tentang potensi turbin Turgo pada negara-negara berkembang dimana 1,6 miliar penduduk yang belum mendapatkan aliran listrik, menunjukkan ada 4 juta sumber potensial pikohidro (Lahimer et al., 2012).

Penelitian tentang turbin Turgo juga dilakukan oleh (Gaiser et al., 2016), (Aaraj et al., 2014), dan (S J Williamson et al., 2013). Geometri dan hasil dari peneltian tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.1 dibawah ini:

Tabel 1.1 Data Geometri dan Efisiensi.

Penulis	α_1 (°)	β_1 (°)	β_2 (°)	Υ (°)	P_{mech} (W)	η_{Paper} (%)
Kyle Gaiser et al. (Gaiser et al., 2016)	30	79	19	11	83	90
Youssef Aaraj et al. (Aaraj et al., 2014)	20	34	30	56	85.98	83
S.J. Williamson et al. (S J Williamson et al., 2013)	20	60	30	20	89.69	91

Terdapat tantangan dalam pengembangan turbin Turgo di aliran sungai, yaitu pengaruh lumpur dan diameter jet. Penelitian kinerja turbin Turgo yang dilakukan oleh Khurana et al., 2017. yang menggunakan kuningan sebagai material sudu turbin menunjukkan partikel lumpur yang mengalir pada turbin Turgo menyebabkan erosi pada turbin dan menyebabkan efisiensi turbin berkurang. Selain itu, getaran yang dihasilkan terhadap komponen turbin menyebabkan kerusakan turbin, dan menyebabkan kerugian besar. Erosi sangat berpengaruh terhadap parameter lumpur (ukuran lumpur dan konsentrasi

lumpur) dan parameter operasi (kecepatan jet dan jam operasi turbin) (Khurana et al., 2017).

Untuk mendapatkan kinerja optimal dari turbin Turgo, rasio diameter *runner* per diameter jet (D/d) harus dalam kisaran rasio 11-16. Rasio ini ditujukan untuk turbin tenaga air skala *small-hydro, medium-hydro,* dan *large-hydro.* Dalam pengujian rasio D/d 22 menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lebih tinggi dibanding rasio D/d 11-16, tampaknya tidak sesuai untuk aplikasi turbin turgo skala piko (Budiarso et al., 2020). Penelitian hubungan antara efisiensi, rasio kecepatan, dan kecepatan jet yang dilakukan oleh Cobb dan Sharp menghasilkan penemuan tentang transfer momentum yang dapat digunakan untuk operasi Turgo yang lebih baik.

Dalam studi kasus lainnya, peningkatan performa turbin Turgo skala piko dilakukan oleh Edwin Gallego, *et al*. menunjukkan bahwa efisiensi turbin turgo impuls menunjukkan efisiensi sebasar 93,7% pada rasio kecepatan 0,567 (Gallego et al., 2020). Selanjutnya, Wichai Pettongkam, et al. menunjukkan dalam perancangan turbin Turgo agar mencapai nilai maksimal perlu adanya pengkajian sudut serang nozel terhadap *runner* (Pett et al., 2018). Metodologi komputasi sangat efektif dalam menganalisis data berdasarkan penedekatan langrangian yang dikembangkan dan ditetapkan untuk simulasi dan analisis mendetail, geometri dari blade diparameterisasi, dan mendapatkan permodealan yang telah rinci dari aliran permukaan blade pada sudu dan stuktur jet (Anagnostopoulos and Papantonis, 2007).

Pengujian performansi turbin Turgo yang dilakukan menggunakan metode analisis eksperimental. Dalam turbin turgo pertama yang dikembangkan, sudut tumbukkan antar bidang roda dan jet di uji pada 20° dan kecepatan perifial tepi inlet 0,45-0,47 dari kecepatan jet ideal (CREWDSON, 1922). Williamson mengevaluasi pengaruh perubahan tinggi jatuh air (*head*) dalam kisaran 1 - 3,5 m menemukan efisiensi sebesar 87% - 91% (S J Williamson et al., 2013). Hasil yang diperoleh dari Williamson *et al*., 2013 sesuai dengan teori (Gallego et al., 2020).

Jhon S. Anagnostopulus et al (2012) melakukan penelitian tentang optimalisasi desain dan validasi eksperimental turbin Turgo dengan metode

Fast Langrangian Simulation (FLS) yang dikembangkan untuk yang dikembangkan untuk optimasi desain numerik *runner* turbin impuls. Terdapat tantangan penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam mengembangkan tubin impuls, yaitu Optimalisasi desain 3D *blades*, desain pabrikan turbin turgo, pengurangan lebar *blades* seminimal mungkin, Peningkatan desain *blades* dengan mengurangi lebar dan mengoptimalkan distribusi sudut saluran masuk.

Dari Tabel 1.1, geometri yang digunakan Kyle Gaiser et al. dengan daya mekanik (P_{mech}) sebesar 83 W menghasilkan efisiensi 90%, Youssef Aaraj et al. dengan P_{mech} sebesar 85.98 W menghasilkan efisiensi 83%, dan S.J. Williamson dengan P_{mech} sebesar 89.69 W menghasilkan efisiensi 91 %. Belum adanya keputusan final tentang parameter optimum sudut jet dan sudut sudu turbin Turgo skala piko. Manufaktur sudu turbin Turgo secara presisi dan akurat dapat menggunakan mesin pencetak tiga dimensi (3D printer). Dengan demikian studi ini melakukan investigasi sudut jet dan geometri sudu turbin Turgo skala piko secara analitik, dan hasil desain dicetak menggunakan pencetakan tiga dimensi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan studi literatur, studi ini mengevaluasi sudut jet dan geometri sudu menggunakan analisis segitiga kecepatan, kemudian evaluasi efektifitas turbin turgo diaplikasikan pada *head* dibawah 5 meter (skala piko) dengan parameter nilai dari kecepatan putaran poros turbin, debit air, dan arus listrik.

Performa turbin Turgo dipengaruhi oleh bentuk kurva sudu. Karenanya manufaktur sudu turbin Turgo harus presisi dan akurat. Oleh karena itu, evaluasi skala laboratorium dilakukan dengan manufaktur sudu turbin menggunakan mesin pencetak tiga dimensi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Analisis sudut geometri sudu α_1 15°-20°
2. Sudut masuk β_1 sebesar 40°, $\beta_1{}'$ sebesar 140°, dan sudut keluar (β_2) dengan analisis nilai 10°-80°
3. Tinggi jatuh air (*head)* yang digunakan 2.9 m
4. Jet yang digunakan yaitu sebesar 10 mm, 9 mm, dan 8 mm
5. Kaji eksperimental menggunakan α_1 20°
6. Debit divariasikan menggunakan bukaan *valve* 30°, 60°, dan 90°
7. *Load* (beban) mengguanakan lampu DC dengan kapasitas 12 Vdc yaitu sebesar 10 Watt, 5 Watt, dan 3 Watt, dan
8. Tidak melakukan uji performansi generator DC
9. *Head Losses* pipa pada pengujian ekseperimental tidak diperhitungkan
10. Tidak menggunakan *nozzle* fabrikasi bentuk komersial
11. Material sudu adalah Acrylonitrile butadiene stryene (tidak dibahas)

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah melakukan identifikasi desain turbin Turgo skala piko, dengan:

1. Mengevaluasi nilai sudut sudu turbin Turgo secara analitik, diantaranya:
   a) Hubungan β_2 Terhadap ΔC_x dan $\Delta C_x{}'$
   b) Hubungan β_2 Terhadap $\dot{m}_2$ dan $\dot{m}_2{}'$
   c) Pengaruh $\alpha_1$dan β_2 Terhadap P_{mech}
   d) Pengaruh $\alpha_1$dan β_2 Terhadap τ
   e) Pengaruh $\alpha_1$dan β_2 Terhadap η
   f) Hubungan α_1 Terhadap r

2. Mengetahui performa turbin Turgo skala piko manufaktur sudu menggunakan 3D-*Print.*

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan, penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat:

1. Memberikan informasi tentang turbin Turgo sebagai inovasi energi terbarukan untuk aplikasi daerah terpencil dan tertinggal di Indonesia,
2. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya dalam perancangan turbin Turgo skala piko, dan
3. Mengusulkan mesin pencetak tiga dimensi sebagai alternatif manufaktur sudu turbin Turgo skala Piko.

DAFTAR RUJUKAN

Aaraj, Y., Mortada, S., Clodic, D., Nemer, M., 2014. Design Of A Turgo Two-Phase Turbine Runner.

Adanta, D., Warjito, Febriansyah, D., Budiarso, 2019. Simple Micro Controller Measurement Devices for Pico Hydro Turbines. Int. Rev. Mech. Eng. 8, 471–480. https://doi.org/https://doi.org/10.15866/ireme.v13i8.17453

Adanta, D., Warjito, W., Febriansyah, D., Budiarso, B., 2020. Feasibility Analysis of a Pico-Scale Turgo Turbine Bucket using Coconut Shell Spoons for Electricity Generation in Remote Areas in Indonesia. J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci. 69, 85–97.

Anagnostopoulos, J.S., Papantonis, D.E., 2007. Flow modeling and runner design optimization in Turgo water turbines. World Acad. Sci. Eng. Technol. 28, 206–211.

Benzon, D.S., Aggidis, G.A., Anagnostopoulos, J.S., 2016. Development of the Turgo Impulse turbine: Past and present. Appl. Energy 166, 1–18.

Breeze, P., 2018. Hydropower Turbines. Hydropower 35–46. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812906-7.00004-1

Bryan, R.C., Sharp, K. V, 2013. Impulse turbine performance characteristics and their impact on Pico-hydro installation. Renew. Energy Journal, Elsevier 50, 959–964.

Budiarso, Adanta, D., Warjito, 2016. Kajian Turbin Air Piko Hidro Daerah Terpencil Di Indonesia. Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XV 5–7.

Budiarso, Warjito, Febriansyah, D., Adanta, D., 2020. The effect of wheel and nozzle diameter ratio on the performance of a Turgo turbine with pico scale. Energy Reports 6, 601–605.

CarbonBrief, 2019. Profil Carbon Brief: Indonesia. Daisy Dunn.

Cengel, Y.A., 2010. Fluid mechanics. Tata McGraw-Hill Education.

CREWDSON, E., 1922. Design and Performance of a New Impulse Water-Turbine., in: Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Thomas Telford-ICE Virtual Library, pp. 396–407.

Dalimunthe, R.A., 2018. Pemantau Arus Listrik Berbasis Alarm Dengan Sensor Arus Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno, in: Seminar Nasional Royal (SENAR). pp. 333–338.

Febriansyah, D., Budiarso, B., Warjito, W., Watanabe, K., Adanta, D., 2018. Storage system manufacturability, portability and modularity for a pico hydro turbine. J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci. 51, 209–214.

Fulford, D.J., Mosley, P., Gill, A., 2000. Recommendations on the use of micro-hydro power in rural development. J. Int. Dev. 12, 975.

Gaiser, K., Erickson, P., Stroeve, P., Delplanque, J.-P., 2016. An experimental investigation of design parameters for pico-hydro Turgo turbines using a response surface methodology. Renew. Energy 85, 406–418.

Gallego, E., Rubio-Clemente, A., Pineda, J., Velásquez, L., Chica, E., 2020. Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine. J. King Saud Univ. - Eng. Sci. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.011

Harinaldi, Budiarso, 2015. Sistem Fluida (Prinsip Dasar dan Penerapan Mesin Fluida, Sistem hidrolik dan Sistem Pnuematik). Erlangga, Jakarta.

Impulse Turbine - an overview | ScienceDirect Topics [WWW Document], n.d. URL https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/impulse-turbine (accessed 12.31.21).

Kemenlu RI, 2012. Sustainable Energy dan Ketahanan Energi Nasional. Kementrian Luar Negeri Republik Indones.

KESDM, 2017. Rencana Umum Energi Nasional. Jakarta.

Khurana, S., Goel, V., Singh, G., 2017. Effect of Silt and Jet Diameter on Performance of Turgo Impulse Hydro Turbine, in: Fluids Engineering Division Summer Meeting. American Society of Mechanical Engineers, p. V01AT03A030.

Lahimer, A.A., Alghoul, M.A., Sopian, K., Amin, N., Asim, N., Fadhel, M.I., 2012. Research and development aspects of pico-hydro power. Renew. Sustain. Energy Rev. 16, 5861–5878.

m. Hari Atmoko, 2019. Tim Ekspedisi Papua Terang rekomendasikan penggunaan Piko Hidro. Jakatra.

Pelikan, B., 2004. Guide on how to develop a small hydropower plant. Eur. Small Hidro-Power Assoc. Brussels, Belgium.

Pett, W., In, D., Faculty, E., 2018. Investigation of a Pico Turgo Turbine for High-Rise Buildings Using computational Fluid Dynamics 11, 112–124.

Reaction Turbine - an overview | ScienceDirect Topics [WWW Document], n.d. URL https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/reaction-turbine (accessed 12.31.21).

Sakulphan, K., Bohez, E.L.J., 2018. A New Optimal Selection Method with Seasonal Flow and Irrigation Variability for Hydro Turbine Type and Size. Energies 11, 3212.

Shafiee, S., Topal, E., 2009. When will fossil fuel reserves be diminished? Energy Policy 37, 181–189.

Suharyati, Pambudi, S.H., Wibowo, J.L., Pratiwi, N.I., 2019. Indonesia Energy Outlook 2019. Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, Jakarta.

Wicaksono, A., Susanto, I.D.W., 2015. Sistem otomasi penggerak kamera dengan motor step sebagai alat bantu kalibrasi alat ukur panjang. J. Otomasi, Kontrol Instrumentasi 6, 105.

Williamson, S J, Stark, B.H., Booker, J.D., 2013. Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine. Appl. Energy 102, 1114–1126. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.029

Williamson, Sam J, Stark, B.H., Booker, J.D., 2013. Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine. Appl. Energy 102, 1114–1126.