

SKRIPSI

**METODE MANUFAKTUR SUDU TURBIN TURGO
SKALA PIKO MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
3D PRINTER**



SUPROYADI

03051181823018

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

SKRIPSI

**METODE MANUFAKTUR SUDU TURBIN TURGO
SKALA PIKO MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
3D PRINTER**

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



**OLEH:
SUPROYADI
03051181823018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

METODE MANUFAKTUR SUDU TURBIN TURGO SKALA PIKO MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTER

SKRIPSI

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

OLEH:
SUPROYADI
03051181823018

Indralaya, November 2022

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.

NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing,



Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.IPP.

NIP. 199306052019031016

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : SUPROYADI
NIM : 03051181823018
JURUSAN : TEKNIK MESIN
**JUDUL SKRIPSI : METODE MANUFAKTUR SUDU
TURBIN TURGO SKALA PIKO
MENGUNAKAN TEKNOLOGI 3D
PRINTER**
DIBUAT TANGGAL : AGUSTUS 2021
SELESAI TANGGAL : SEPTEMBER 2022

Indralaya, November 2022

Diperiksa dan disetujui oleh :

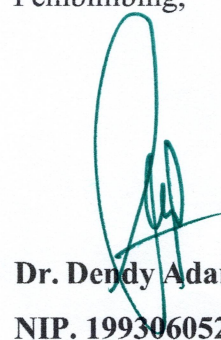
Pembimbing,

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Uryadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
NIP. 197112251997021001



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Metode Manufaktur Sudu Turbin Turgo Skala Piko Menggunakan Teknologi 3d Printer” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 3 November 2022.

Palembang, November 2022

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

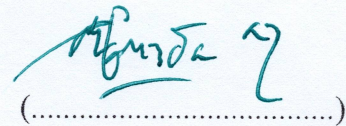
1. Ir. Dyos Santoso, M.T.
NIP.196012231991021001



(.....)

Sekretaris:

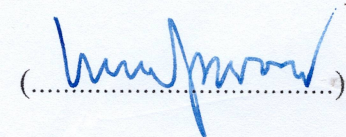
2. Aneka Firdaus, S.T, M.T.
NIP.197502261999031001



(.....)

Penguji:

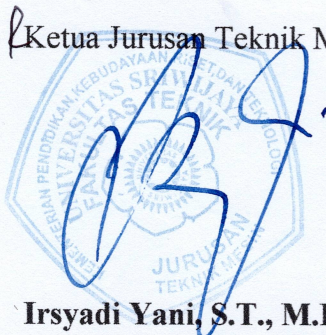
3. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP.196005281989031002



(.....)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



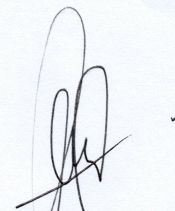
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

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

Indralaya, November 2022

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Skripsi



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

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suproyadi

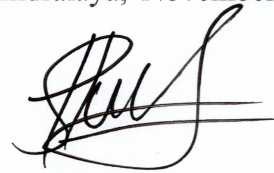
NIM : 03051181823018

Judul : Metode Manufaktur Sudu Turbin Turgo Skala Piko Menggunakan
Teknologi 3d Printer

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, November 2022



Suproyadi

NIM. 03051181823018

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suproyadi

NIM : 03051181823018

Judul : Metode Manufaktur Sudu Turbin Turgo Skala Piko Menggunakan
Teknologi 3d Printer

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 siapapun.

Indralaya, November 2022



Suproyadi

NIM. 03051181823018

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini dengan baik. Berikut karya penulis dalam tugas akhir ini yang berjudul “Metode Manufaktur Sudu Turbin Turgo Skala Piko Menggunakan Teknologi 3d Printer”. Seiring dengan selesainya tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan banyak pengetahuan dan pemahaman pada turbin air yang menghasilkan listrik yang sangat berguna bagi kehidupan sehari-hari.

Adapun terwujudnya tugas akhir ini adalah berkat bimbingan dan bantuan serta petunjuk dari berbagai pihak yang tak ternilai harganya. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu penulis dalam membuat tugas akhir ini. Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Bapak Damri dan ibu Erwani, Kedua orang tua dan sayang telah mendukung penulis lahir dan batin dan memberikan semangat kasih sayang dan doa yang tulus.
2. Riyalita, S.Pd. selaku saudara penulis yang telah membantu memberikan semangat dan menemani dalam proses Pendidikan penulis di Universitas Sriwijaya
3. Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T., IPP selaku Dosen pembimbing yang membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.
4. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik Universitas Siwijaya
5. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

6. Bapak Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya dan sebagai dosen pengarah yang membantu menyusun tugas akhir
7. Gunawan, S.T., M.T., Ph..D selaku Pembina mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
8. Dosen, jajaran staf, dan karyawan jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membantu memberikan materi dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis
9. Rekan-rekan Hydropower research group Universitas Sriwijaya yang telah membantu dalam proses pengujian untuk memenuhi data pada pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam Penulisan Tugas Akhir ini, Penulis menerima kritik dan saran dari pembaca agar penulis dapat membuat tulisan yang lebih baik lagi di kemudian hari.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak, semoga kebaikan semuanya menjadi amal ibadah yang mendapatkan ridho dari Allah SWT., Aamiin.

Indralaya, November 2022



Suproyadi
NIM. 03051181823018

RINGKASAN

METODE MANUFAKTUR SUDU TURBIN TURGO SKALA PIKO MENGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTER

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, November 2022

Suproyadi: dibimbing oleh Dr. Dendy Adanta S.Pd., M.T., IPP.

METODE MANUFAKTUR SUDU TURBIN TURGO SKALA PIKO

MENGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTER

XXVII+44 Halaman, 2 Tabel, 19 Gambar

RINGKASAN

Pemerintah Indonesia masih berupaya meningkatkan rasio elektrifikasi (RE) menjadi 100% karena energi listrik telah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat Indonesia. Upaya peningkatan RE dapat dikatakan berhasil dimana dalam 10 tahun terakhir RE mengalami peningkatan signifikan yaitu 2010 sebesar 67,2% dan 2019 sebesar 99%. Dimana 1% tersebut setara dengan 507 desa yang belum teraliri listrik. Potensi energi yang besar dapat dimanfaatkan sebagai upaya ketahanan energi nasional dimana seharusnya rasio elektrifikasi sebesar 100% telah lama dicapai karena potensi energi air skala rendah melimpah 19.000 MW dan air skala besar sebesar 75.000 MW tersebar di seluruh Indonesia. Dari hasil studi dan survey merekomendasikan pembangkit listrik mandiri berbasis energi terbarukan dengan sistem *off-grid* cocok untuk daerah terpencil di Indonesia. Dari kajian sebelumnya turbin piko hidro (<5 kW) adalah kesepakatan yang baik. Dari beberapa jenis turbin, turbin Turgo adalah usulan yang tepat karena kompleks, relatif murah, handal, dan cocok untuk head rendah (< 5 m). Geometri Turbin Turgo dapat dikategorikan kompleks. Karenanya manufaktur runner Turbin Turgo menggunakan teknologi printer 3 dimensi (3D) diusulkan. Ini karena printer 3D mencetak geometri kompleks dengan presisi. Selain itu perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi

membuat printer 3D yang murah, mudah diaplikasikan (*user friendly*), dan presisi. Diproses manufaktur, material sudu berbasis plastic dapat mejadi solusi, seperti: PolyLactic Acid (PLA). PLA sebagai material turbin turgo sekala piko karena murah, elastis, kuat, banyak di pasaran, kemungkinan gagal cetak rendah, hasil cetakan lebih halus, dan tidak mudah menyusut dan retak. Kemudian, proses dan metode manufaktur Turbin Turgo skala piko harus menjadi perhatian khusus. Material yang digunakan linear dengan proses dan metode manufaktur yang digunakan. Pemanfaatan material berbasis plastic menjadi teknologi tiga-dimensi printer (3D printer) adalah pilihan tepat. Oleh karena itu, studi ini bertujuan mengkaji metode manufaktur sudu turbin turgo skala piko menggunakan teknologi 3D printer.

Hasil uji kekuatan mekanik sudu turbin Turgo menggunakan metode software solidworks, sudu mengalami kerusakan yang dimana simulasi ini dilakukan pada beban 400N dan uji performa turbin Turgo berbahan PLA menggunakan metode eksperimen pada skala piko, performa maksimum turbin Turgo berbahan PLA adalah 9%.

Kata kunci: Turbin Turgo, Sudu, 3D printer, manufaktur, performansi

SUMMARY

PIKO SCALE TURBINE MANUFACTURING METHOD USING 3D PRINTING TECHNOLOGY

Scientific Writing in the form of a thesis, November 2022

Suproyadi, Supervised of Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T., IPP.

PIKO SCALE TURBINE MANUFACTURING METHOD USING 3D PRINTING TECHNOLOGY

xxvii +44 pages, 2 tables, 19 images

SUMMARY

The Indonesian government is still trying to increase the electrification ratio (RE) to 100% because electricity has become the main need of the Indonesian people. Efforts to increase NRE can be said to be successful where within 10 years EBT has increased quite significantly, namely in 2010 by 67.2% and in 2019 by 99%. Where 1% is equivalent to 507 villages that do not have electricity. This large power potential can be used as an effort to maintain the country's electricity where the electrification ratio of 100% has long been achieved because the potential for low-scale hydropower is widely available, namely 19,000 MW and large-scale hydropower 75,000 MW. . spread throughout the region. Indonesia. Based on the results of studies and research, it is recommended that independent power plants based on renewable energy with off-grid systems are suitable for remote areas in Indonesia. Compared to previous studies, pico hydro turbines (<5 kW) are relatively good. Of the several types of turbines, the Turgo turbine is a suitable backup because it is complex, relatively inexpensive, reliable, and suitable for low heads (< 5 m). Turgo turbine geometry can be categorized as complex. Therefore, it is recommended to make Turgo Turbine runners using 3-dimensional (3D) printing technology. This is because 3D printers print complex geometries with precision. In addition,

advances in science and technology make 3D printers cheap, easy to use (user-friendly) and accurate. In the manufacturing process, plastic-based knife materials can be used as solutions, such as: PolyLactic Acid (PLA). PLA as a pico scale turgo turbine material because it is cheap, ductile, strong, widely available in the market, low probability of mold failure, smoother mold results, and not easy to shrink and crack. Then, the process and method of manufacturing the pico scale Turgo Turbine needs special attention. The materials used are linear with the manufacturing process and methods used. The use of plastic-based materials into three-dimensional printing technology (3D printing) is the right choice. Therefore, this study aims to examine the method of making pico-scale turgo turbine blades using 3D printing technology.

The results of testing the mechanical strength of the Turgo turbine blade using the solidworks software method, the blade was damaged where the simulation was run at a load of 400N and the Turgo turbine performance test made of PLA using the experimental method on the pico scale. , the maximum performance of the Turgo turbine made of PLA is 9%.

Keywords: Turgo Turbine, Blade, 3D printer, manufacturing, performance

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Studi Literatur.....	2
1.3 Rumusan masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Landasan Teori	7
2.1.1 Energi Potensial Air	7
2.1.2 Segitiga Kecepatan	7
2.1.3 Analisis Perubahan Momentum	9
2.1.4 Analisis Efisiensi dan Daya Mekanik.....	10
2.1.5 Analisa Geometri	10
2.2 Analisis Kekuatan Mekanik	11
2.2.1 Ketahanan material (<i>Modulus elastisitas</i>).....	11
2.2.2 Kekuatan Tarik material (<i>ultimate tensile strength</i>).....	11
2.3 Sifat Mekanis PLA (<i>PolyLactic Acid</i>).....	11
2.4 Sumber penyebab Kegagalan Pada bahan PLA	11

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Kondisi Batas.....	13
3.2 Metode Analitik.....	13
3.3 Pencetakan Sudu Menggunakan Printer 3D	14
3.3.1 Desain pada software solidworks	14
3.3.2 Pengaturan cetak menggunakan ultimaker cura	15
3.3.3 Pencetakan pada printer 3D	17
3.4 Metode Eksperimen	18
3.5 Metode Simulasi Solidworks.....	19
3.6 Metode Kelayakan Sudu Turbin Turgo	21
3.7 Teknik Pengumpulan Data	21
3.8 Analisis Data.....	22
3.9 Verifikasi Alat Ukur	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Simulasi Kekuatan Mekanik Solidworks	25
4.1.1 Simulasi static (100N – 400N)	25
4.2 Hasil pengujian experimetal	29
4.2.1 Hubungan EP terhadap C1	29
4.2.2 Hubungan V terhadap n	30
4.2.3 Hubungan I terhadap n	31
4.2.4 Hubungan Pelec terhadap n	31
4.2.5 Hubungan η terhadap U/C1	32
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran	33
.....	34
DAFTAR RUJUKAN.....	35
LAMPIRAN	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematik desain Sudu turbin Turgo dan Proyeksi arah kecepatan air	8
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> perancangan turbin turgo	14
Gambar 3.2 Hasil desain sudu menggunakan solidworks	15
Gambar 3.3 Ultimaker cura	16
Gambar 3.4 Pengaturan pada pencetakan turbin Turgo	16
Gambar 3.5 Suhu Printer 3D	17
Gambar 3.6 Proses Pencetakan sudu turbin Turgo.....	18
Gambar 3.7 Experimen seet-up	19
Gambar 3.8 Derah sudu yang di simulasi.....	20
Gambar 3.9 Skematik rangkaian alat ukur berbasis micro controller 8-bit.....	22
Gambar 4. 1 Simulasi kekuatan mekanik	27
Gambar 4. 2 Simulasi kekuatan mekanik	28
Gambar 4. 3 Hasil Simulasi kekuatan mekanik	28
Gambar 4. 4 Hubungan C_1 terhadap EP	29
Gambar 4. 5 Hubungan V terhadap n.....	30
Gambar 4. 6 Hubungan l terhadap n.....	31
Gambar 4. 7 Hubungan P_{elec} terhadap n	31
Gambar 4. 8 Hubungan η terhadap U/C_1	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1. Sifat Mekanik PLA.....	11
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Kekuatan Mekanik.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Hasil Pengujian.....	37
Lampiran 2. Coding Arduino Uno	40
Lampiran 3. Pengambilan Data	41
Lampiran 4. Rancangan Turbin Turgo	43
Lampiran 5. Tingkat presisi hasil cetak.....	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, pemerintah Indonesia masih berupaya meningkatkan rasio elektrifikasi (RE) menjadi 100% karena energi listrik telah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat Indonesia (Kementerian energi dan sumberdaya mineral, 2016). Upaya peningkatan RE dapat dikatakan berhasil dimana dalam 10 tahun terakhir RE mengalami peningkatan signifikan yaitu 2010 sebesar 67,2% dan 2019 sebesar 99% (Kementerian energi dan sumberdaya mineral, 2017). Berdasarkan data dari Kementrian Energi Sumberdaya dan Mineral (KESDM) 1% tersebut setara dengan 507 desa yang belum teraliri listrik (Hamidi, 2019).

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber energi yang melimpah dimana: 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 matahari sebesar 560.000 MW (Serafika gischa, 2020). Potensi energi yang besar dapat dimanfaatkan sebagai upaya ketahanan energi nasional dimana seharusnya rasio elektrifikasi sebesar 100% telah lama dicapai.

Dari hasil studi dan survey bernama Ekspedisi Papua Terang yang dilakukan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) merekomendasikan pembangkit listrik mandiri berbasis energi terbarukan dengan sistem *off-grid* cocok untuk daerah terpencil di Indonesia (Ganet Dirgantara, 2019). Dari kajian sebelumnya turbin piko hidro (<5 kW) adalah kesepakatan yang baik (Budiarso, Adanta and Warjito, 2016). Ini karena potensi energi air skala rendah melimpah (19.000 MW) dan tersebar di seluruh Indonesia (Serafika gischa, 2020). Selain

itu, biaya investasi dan operasional turbin piko hidro lebih rendah dibandingkan turbin angin dan solar photovoltaic (Tiwari dkk., 2020).

Pikohidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya maksimum 5 kW. Kesederhanaan desain, konstruksi dan biaya investasi turbin piko hidro menjadi alasan dia cocok untuk masyarakat pedesaan daerah terpencil. Turbin pikohidro memiliki tiga komponen yaitu turbin, transmisi, dan generator. Secara umum turbin piko hidro memiliki dua tipe yaitu: turbin reaksi yaitu turbin Kaplan, turbin Francis, turbin Propeller dan turbin pompa (pompa sebagai turbin); dan turbin impuls. adalah turbin Pelton, turbin Turgo, turbin crossflow.

Dari beberapa jenis turbin, turbin Turgo adalah usulan yang tepat karena relatif murah, handal, dan cocok untuk head rendah (< 5 m) (Anagnostopoulos and Papantonis, 2016). Saat ini, pengembangan dan penggunaan turbin Turgo untuk memanfaatkan sumberdaya air skala rendah telah menjadi sangat luas karena dampak negatifnya yang di timbulkan terhadap lingkungan (biota air) (Gallego dkk., 2020). Karenanya instalasi turbin air skala rendah menggunakan turbin Turgo menjadi pilihan ekonomis untuk menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, turbin Turgo berbiaya rendah untuk aplikasi *low-head* dirancang dan dikaji untuk mengevaluasi efek dari beberapa parameter geometris yang terlibat dalam desain dan, selanjutnya, dalam efisiensi turbin.

Geometri Turbin Turgo dapat dikategorikan kompleks. Karenanya manufaktur runner Turbin Turgo menggunakan teknologi printer 3 dimensi (3D) di usulkan. Ini karena printer 3D mencetak geometri kompleks dengan presisi. Selain itu perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membuat printer 3D yang murah, mudah di aplikasikan (*user friendly*), dan presisi.

1.2 Studi Literatur

Turbin Turgo dikategorikan sebagai sebagai turbin impulse, dimana memanfaatkan enegi kinetik air untuk memutar porosnya. Turbin Turgo merupakan perkembangan dari turbin Pelton, dimana banyak analisis yang digunakan dalam merancang turbin Turgo menggunakan konsep turbin Pelton

(Warjito dkk., 2017). Turbin Turgo dikembangkan sebagai alternatif pembangkit listrik mandiri di daerah terpencil karena bentuknya yang sederhana dan mudah dirawat serta dioperasikan (Židonis, Benzon dan Aggidis, 2015; Benzon, Aggidis and Anagnostopoulos, 2016). Upaya hilirisasi riset turbin Turgo terus dilakukan. Williamson, Stark and Booker (2013) mengusulkan perancangan turbin Turgo dengan analisis *quasi-steady state* dua dimensi (2D) dan menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi (η) cukup signifikan sebesar hingga 20% sehingga menjadi 87%. Cobb dan Sharp (2013) menerangkan bahwa performa turbin juga dipengaruhi oleh kecepatan putaran roda dan untuk meningkatkan performa sudut serang direkomendasikan sebesar 20° untuk memaksimalkan energi yang ditransfer ke sudu. Warjito dkk. (2017) merancang sudu menggunakan konsep kurvatur agar sudu turbin dapat dimanufaktur menggunakan pipa PVC. Riset yang dilakukan Warjito et al. adalah riset lanjutan dari Aaraj et al. Aaraj dkk. (2014) mengkonsep sudu menggunakan kurvatur dan segitiga kecepatan tetapi ini diduga sulit untuk dimanufaktur di daerah terpencil. Selain riset fundamental, terdapat juga riset terapan yang telah dilakukan. Gaiser dkk. (2016) merancang turbin Turgo berbahan baku sendok makan. Gaiser dkk. (2016) melakukan untuk menekan biaya manufaktur turbin sehingga memungkinkan dimanufaktur di daerah terpencil. Lebih lanjut, Budiarmo dkk. (2019) juga merancang turbin Turgo menggunakan sendok nasi berbahan *stainless steel*. Selain membuktikan usulan hasil riset Gaiser dkk. (2016), Budiarmo dkk. (2019) merancang sudu menggunakan sendok juga dilakukan untuk membandingkan turbin Pelton yang memiliki sudu presisi dengan turbin Turgo dan menyimpulkan baik dari segi ekonomi dan performa turbin Turgo merupakan turbin impuls yang tepat diterapkan untuk kondisi *low head* (< 5 m).

Secara teori, karakteristik turbin Turgo mirip dengan turbin Pelton. Hal ini membuat studi tentang karakterisasi turbin Turgo akan mirip dengan karakter turbin Pelton, namun faktanya proses konversi energi yang terjadi adalah berbeda. Karena momentum air yang diserap sudu memiliki resultan yang searah dengan sudut sudu dan *nozzle*. Sehingga, sudut sudu dan *nozzle* signifikan mempengaruhi performa. Konsekuensinya, sudut sudu yang optimum adalah 40° dan sudut jet adalah 20° (Anagnostopoulos dkk., 2012). Hasil riset melaporkan,

konsep ratio d/D yang diadopsi dari turbin Pelton untuk turbin Turgo skala piko kurang tepat dimana hasil yang diperoleh tidak sesuai ekspektasi (Budiarso dkk., 2019). Lebih lanjut, kajian konprehensif bagaimana proses konversi energi ke sudu secara rinci telah di identifikas. Vektor kecepatan air dan bentuk sudu merupakan parameter penting yang mempengaruhi Turbin Turgo skala piko. yang optimum untuk turbin Turgo skala piko.

Diproses manufaktur, material sudu berbasis plastic dapat mejadi solusi, seperti: PolyLactic Acid (PLA). PLA sebagai material turbin turgo sekala piko karena murah, elastis, kuat, banyak di pasaran, kemungkinan gagal cetak rendah, hasil cetakan lebih halus, dan tidak mudah menyusut dan retak. Kemudian, proses dan metode manufaktur Turbin Turgo skala piko harus menjadi perhatian khusus. Material yang digunakan linear dengan proses dan metode manufaktur yang digunakan. Pemanfaatan material berbasis plastic menjadi teknologi tiga-dimensi printer (3D printer) adalah pilihan tepat. Oleh karena itu, studi ini bertujuan mengkaji metode manufaktur sudu turbin turgo skala piko menggunakan teknologi 3D printer.

1.3 Rumusan masalah

Dari penjelasan latar belakang dan studi literatur, dengan demikian rumusan masalah studi ini adalah apakah 3D printer direkomendasikan untuk manufaktur sudu turbin turgo dengan hasil cetak geometri yang presisi dan berapa daya maksimum yang mampu diserap olehnya?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merekomendasikan proses manufaktur sudu turbin Turgo skala piko menggunakan teknologi 3D printer
2. Mengetahui performa turbin Turgo skala piko berbahan PLA
3. Melakukan analisis kekuatan mekanik menggunakan metode simulasi software solidworks untuk mengetahui daya maksimum yang dapat diterima oleh sudu turbin turgo skala piko berbahan PLA.

1.5 Manfaat Penelitian

Terdapat empat manfaat dari riset ini:

1. Hasil riset dapat dijadikan bahan ajar untuk matakuliah Mesin Konversi Energi I dan Mesin Konversi Energi II
2. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi performa turbinTurgo skala piko
3. Usulan pembangkit listrik mandiri untuk elektrifikasi di daerah terpencil
4. Kelayakan bahan PLA untuk material sudu turbin Turgo

DAFTAR RUJUKAN

- Aaraj, Y., Mortada, S., Clodic, D., & Nemer, M. (2014). Design Of A Turgo Two-Phase Turbine Runner.
- Abidin, Z., Fadhlurrahman, I. G., Akbar, I., Putra, R. U., Prakoso, A. T., Kadir, M. Z., Astuti, A., Syahrom, A., Ammarullah, M. I., & Jamari, J. (2022). Numerical Investigation of the Mechanical Properties of 3D Printed PLA Scaffold. 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021), 83–89.
- Anagnostopoulos, J. S., Koukouvini, P. K., Stamatelos, F. G., & Papantonis, D. E. (2012). Optimal design and experimental validation of a Turgo model Hydro turbine. ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ASME Paper No. ESDA2012-82565.
- Anagnostopoulos, J. S., & Papantonis, D. E. (2016). ESDA2012-82565. 1–10.
- Benzon, D. S., Aggidis, G. A., & Anagnostopoulos, J. S. (2016). Development of the Turgo Impulse turbine : Past and present. *Applied Energy*, 166, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.091>
- Budiarso, Adanta, D., & Warjito. (2016). Kajian Turbin Air Piko Hidro Daerah Terpencil Di Indonesia. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV, Snttm Xv, 5–7.
- Budiarso, Warjito, Lubis, M. N., & Adanta, D. (2019). Performance of a Low Cost Spoon-Based Turgo Turbine for Pico Hydro Installation. *Energy Procedia*, 156, 447–451.
- Cobb, B. R., & Sharp, K. V. (2013). Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations. *Renewable Energy*, 50, 959–964. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.010>
- 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. *Renewable Energy*, 85, 406–418. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.049>
- Gallego, E., Rubio-Clemente, A., Pineda, J., Velásquez, L., & Chica, E. (2020). Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.011>
- Ganet Dirgantara. (2019). Tim Ekspedisi Papua Terang rekomendasikan penggunaan Piko Hidro.
- Hamidi, H. (2019). Rasio desa berlistrik 100% pada tahun 2019.
- Harinaldi, Budiarmo. (2015). *Sistem Fluida (Prinsip Dasar dan Penerapan Mesin Fluida, Sistem hidrolik dan Sistem Pnuematik)*. Erlangga.
- Kementerian energi dan sumberdaya mineral. (2016). *Listrik Kebutuhan Pokok yang harus Dijaga Volume, Kualitas dan Kesenambungannya*.
- Kementerian energi dan sumberdaya mineral. (2017). *Rasio elektrifikasi 2017 Indonesia*.
- Serafika gischa. (2020). *Energi Terbarukan di Indonesia*.
- Tiwari, G., Kumar, J., Prasad, V., & Patel, V. K. (2020). Utility of CFD in the design and performance analysis of hydraulic turbines — A review. *Energy Reports*, 6, 2410–2429. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.004>
- Warjito, Budiarmo, Siswantara, A. I., Adanta, D., Kamal, M., & Dianofitra, R. (2017). Simple Bucket Curvature for Designing a Low-Head Turgo Turbine for Pico Hydro Application. *International Journal of Technology*, 7, 1239–1247. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i7.767>
- Williamson, S. J., Stark, B. H., & Booker, J. D. (2013). Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine. *Applied Energy*, 102(Supplement C), 1114–1126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.029>
- Židonis, A., Benzon, D. S., & Aggidis, G. A. (2015). Development of hydro impulse turbines and new opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1624–1635. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.007>