

PROYEK AKHIR - VM191879

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT INLET
DAN SUDUT STAGGER DENGAN PROFIL BASIN
CONCAVE CONICAL TERHADAP PERFORMA WATER
TURBINE VORTEX**

FA`IZUL FIRDAUS

NRP 10211810010012

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Heru Mirmanto, M. T.

NIP 196202161995121001

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI**

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



PROYEK AKHIR - VM191879

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT INLET
DAN SUDUT STAGGER DENGAN PROFIL BASIN
CONCAVE CONICAL TERHADAP PERFORMA WATER
TURBINE VORTEX**

FA`IZUL FIRDAUS

NRP 10211810010012

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Heru Mirmanto, M. T.

NIP 196202161995121001

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI**

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - VM191879

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF
VARIATIONS OF INLET ANGLE AND STAGGER ANGLE
WITH CONCAVE CONICAL BASIN PROFILE ON WATER
TURBINE VORTEX PERFORMANCE**

FA`IZUL FIRDAUS

NRP 10211810010012

Advisor

Dr. Ir. Heru Mirmanto, M. T.

NIP 196202161995121001

**ENERGY CONVERSION ENGINEERING STUDY PROGRAM OF APPLIED BACHELOR
INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**

Vocational Faculty

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT INLET DAN SUDUT STAGGER DENGAN PROFIL BASIN *CONCAVE CONICAL* TERHADAP PERFORMA *WATER TURBINE VORTEX*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik

Program Studi Rekayasa Konversi Energi

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun oleh:

Fa`izul Firdaus
NRP. 10211810010012

Disetujui oleh dosen pembimbing Proyek Akhir:

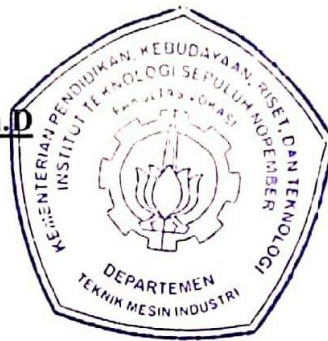
Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.
NIP. 19620216 1999512 1 001

Penguji Proyek Akhir:

Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D
NIP. 19751206 200501 1 002

Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP. 19610602 198701 1 001

Ir. Arino Anzip, M.Eng, Sc
NIP. 19610714 198803 1 003



Handwritten signatures of the supervisors and examiners.

APPROVAL SHEET

FINAL PROJECT

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATIONS OF INLET ANGLE AND STAGGER ANGLE WITH CONCAVE CONICAL BASIN PROFILE ON WATER TURBINE VORTEX PERFORMANCE

Submitted to fulfill one of the requirements for obtaining a degree
Bachelor of Applied Engineering

Energy Conversion Engineering Study Program of Applied Bachelor
Industrial Mechanical Engineering Department
Vocational Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology

Arranged By:

Fa`izul Firdaus
NRP. 10211810010012

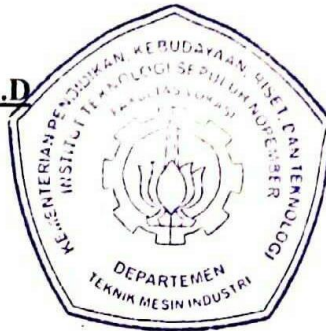
Approved by Final Project Advisor:

Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.
NIP. 19620216 1999512 1 001



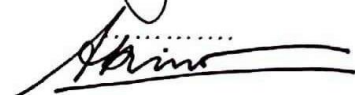
Final Project Examiner:

Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D
NIP. 19751206 200501 1 002



Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP. 19610602 198701 1 001

Ir. Arino Anzip, M.Eng, Sc
NIP. 19610714 198803 1 003



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa / NRP : Fa`izul Firdaus / 10211810010012

Departemen : Teknik Mesin Industri

Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T. / 19620216 1999512 1 001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT INLET DAN SUDUT STAGGER DENGAN PROFIL BASIN *CONCAVE CONICAL* TERHADAP PERFORMA *WATER TURBINE VORTEX*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

(Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.)
NIP. 19620216 1999512 1 001

Surabaya, 14 Juli 2022

Mahasiswa

(Fa`izul Firdaus)
NRP. 10211810010012

STATEMENT OF ORIGINALITY

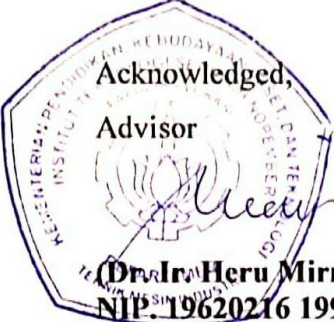
The undersigned below:


Name of Student / NRP : Fa`izul Firdaus / 10211810010012
Departement : Industrial Mechanical Engineering
Advisor / NIP : Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T. / 19620216 1999512 1 001

Hereby declare that the Final Project with the title of “EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATIONS OF INLET ANGLE AND STAGGER ANGLE WITH CONCAVE CONICAL BASIN PROFILE ON WATER TURBINE VORTEX PERFORMANCE” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 14th of July 2022


Acknowledged,
Advisor
(Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.)
NIP. 19620216 1999512 1 001

Student

(Fa`izul Firdaus)
NRP. 10211810010012

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT INLET DAN SUDUT
STAGGER DENGAN PROFIL BASIN *CONCAVE CONICAL* TERHADAP
PERFORMA *WATER TURBINE VORTEX***

Nama : Fa`izul Firdaus
NRP : 10211810010012
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Heru Mirmanto, M. T.

ABSTRAK

Energi fosil menimbulkan efek rumah kaca yang berdampak buruk terhadap lingkungan dan kelangsungan kehidupan di masa mendatang, pemanfaatan energi terbarukan perlu dilakukan sedini mungkin demi mencegah dampak buruk yang ditimbulkan akibat pemakaian energi fosil. Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, salah satunya dengan memanfaatkan sumber energi mikrohidro. Pemanfaatan energi mikrohidro dapat dilakukan dengan menggunakan turbin vortex sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Turbin vortex dapat beroperasi pada head yang rendah yaitu 0,7 m - 3 m dan tidak membutuhkan kapasitas yang besar untuk menghasilkan energi listrik. Turbin vortex menghasilkan daya 5 KW - 100 KW sehingga direkomendasikan untuk pemakaian skala kecil pada sejumlah rumah di daerah pedesaan.

Uji eksperimen Turbin Vortex dilakukan dalam skala laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui intensitas aliran vortex dan performa yang dihasilkan. Turbin Vortex yang diuji memiliki basin berbentuk kerucut cekung dan runner dengan stagger lengkung bersudut 0° dan 20°. Variasi dilakukan pada saluran inlet dengan sudut 0° dan 10°. Data yang diambil dalam uji eksperimen ini adalah putaran turbin (rpm), berat pembebanan (N), dan kecepatan aliran (m/s) untuk diolah menjadi, kecepatan sudut (rad/s), torsi (Nm), daya turbin (watt), daya hidrolis (watt), Tip Speed Ratio, Coefficient Power, dan efisiensi (%).

Dihasilkan nilai intensitas aliran vortex maksimal sebesar 0.105 m²/s pada debit 230 lpm dan sudut inlet 10°. Nilai daya turbin tertinggi sebesar 2.15 Watt dengan efisiensi 11.48% pada debit 230 lpm, sudut inlet 10°, dan sudut stagger 20°.

Kata Kunci: Turbin Vortex, Sudut Inlet, Sudut Stagger, Intensitas Aliran Vortex, dan Performa Turbin.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATIONS OF INLET ANGLE AND STAGGER ANGLE WITH CONCAVE CONICAL BASIN PROFILE ON WATER TURBINE VORTEX PERFORMANCE

Name : Fa`izul Firdaus
Student Registration Number : 10211810010012
Departement : Mechanical Industrial Engineering
Advisor : Dr. Ir. Heru Mirmanto, M. T.

ABSTRACT

Fossil energy causes a greenhouse effect that has a negative impact on the environment and the continuity of life in the future, the use of renewable energy needs to be carried out as early as possible to prevent the adverse effects caused using fossil energy. Indonesia has a lot of potential for renewable energy, one of which is by utilizing micro-hydro energy sources. Utilization of micro-hydro energy can be done by using a vortex turbine as a micro-hydro power plant. The vortex turbine can operate at a low head of 0.7 m - 3 m and does not require a large capacity to generate electrical energy. The vortex turbine produces 5 KW - 100 KW of power so it is recommended for small-scale use in several homes in rural areas.

The Vortex Turbine experimental test was carried out on a laboratory scale which aims to determine the intensity of the vortex flow and the resulting performance. The Vortex turbine tested has a concave conical basin and a runner with a curved stagger at 0° and 20° angles. Variations are made on the inlet channel with angles of 0° and 10°. The data taken in this experimental test are turbine rotation (rpm), loading weight (N), and flow velocity (m/s) to be processed into angular velocity (rad/s), torque (Nm), turbine power (watts), hydraulic power (watts), Tip Speed Ratio, Coefficient Power, and efficiency (%).

The maximum vortex flow intensity value is 0.105 m²/s at a discharge of 230 lpm and an inlet angle of 10°. The highest turbine power value is 2.15 Watt with an efficiency of 11.48% at a discharge of 230 lpm, an inlet angle of 10°, and a stagger angle of 20°.

Keywords: Vortex Turbine, Inlet Angle, Stagger Angle, Vortex Flow Intensity, and Turbine Performance.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, tak lupa salawat serta salam saya ucapkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI SUDUT INLET DAN SUDUT STAGGER DENGAN PROFIL BASIN *CONCAVE CONICAL* TERHADAP PERFORMA *WATER TURBINE VORTEX*”. Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan, dan kerja sama yang baik dari berbagai pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M. T. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Departemen Teknik Mesin Industri yang dengan sabar memberikan bimbingan serta ilmu yang bermanfaat selama proses pengerjaan proyek akhir ini.
2. Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T. selaku koordinator proyek akhir Departemen Teknik Mesin Industri.
3. Bapak Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D selaku dosen wali selama perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri.
4. Seluruh bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Mesin Industri yang telah memberikan berbagai ilmu selama perkuliahan.
5. Ayah, Ibu, Adik, dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril maupun doa selama ini.
6. Seluruh teman Nogogeni ITS Team angkatan 2018 yang selalu memberikan dukungan di dalam maupun di luar dunia perkuliahan.
7. Seluruh teman angkatan 2018 Departemen Teknik Mesin Industri yang selalu memberikan semangat dalam mengerjakan proyek akhir ini.
8. Rr. Yuanita Dewi Saresty dan Alifiansyah Yoga Pramono selaku *partner* dan teman bimbingan dalam melakukan penelitian proyek akhir ini.
9. Rintan Widhi Hapsari selaku sahabat hidup yang senantiasa menjadi “*the best support system*” penulis dalam pengerjaan proyek akhir ini.
10. Semua pihak yang belum tertulis dan tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang telah ikut berperan dalam pengerjaan proyek akhir ini.

Semoga segala keikhlasan dan kebaikan yang telah dicurahkan mendapatkan balasan yang terbaik dari Sang Pencipta.

Penulis menyadari dalam penulisan proyek akhir ini masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk kesempurnaan Proyek Akhir ini. Semoga dengan penulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 13 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pembangkit Listrik	4
2.1.1 Pembangkit Listrik Sumber Energi Non Terbarukan	4
2.1.2 Pembangkit Listrik Sumber Energi Terbarukan	4
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air	5
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	7
2.3 Turbin Air	8
2.3.1 Turbin Impuls	11
2.3.1.1 Turbin Crossflow	11
2.3.1.2 Turbin Pelton	12
2.3.1.3 Turbin Turgo	13
2.3.2 Turbin Reaksi	13
2.3.2.1 Turbin Francis	14
2.3.2.2 Turbin Propeller	14
2.3.2.3 Turbin Vortex	15
2.4 Persamaan untuk Pengolahan Data	16
2.4.1 Debit	16
2.4.2 Torsi	16

2.4.3 Kecepatan Angular	17
2.4.4 Daya Air	17
2.4.5 Daya Turbin	17
2.4.6 Efisiensi	18
2.4.7 Coefficient of Power.....	18
2.4.8 Tip Speed Ratio	18
2.4.9 Intensitas Aliran Vortex.....	19
BAB III METODOLOGI	20
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2 Studi Literatur.....	21
3.3 Variabel Penelitian	21
3.4 Proses Desain.....	22
3.4.1 Rangka.....	22
3.4.2 Basin	23
3.4.3 Turbin	24
3.4.4 Inlet.....	26
3.4.5 Shaft dan Pulley.....	26
3.5 Langkah Pengujian	27
3.5.1 Sebelum Pengujian	27
3.5.2 Selama Pengujian	27
3.6 Teknik Pengumpulan Data	27
3.6.1 Putaran Turbin	27
3.6.2 Beban Penegereman	28
3.6.3 Kecepatan Aliran	28
3.7 Teknik Pengolahan Data.....	29
3.8 Teknik Analisis Data	29
3.9 Timeline Pengerjaan Proyek Akhir	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Data Penelitian.....	31
4.2 Perhitungan.....	31
4.2.1 Debit	31
4.2.2 Kecepatan Angular	32
4.2.3 Torsi.....	32
4.2.4 Daya Air	33
4.2.5 DayaTurbin.....	33
4.2.6 Coefficient of Power.....	34

4.2.7 Efisiensi	34
4.2.8 Tip Speed Ratio	35
4.2.9 Intensitas Aliran Vortex.....	35
4.3 Data Hasil Pengujian	36
4.3.1 Intensitas Aliran Vortex.....	36
4.3.2 Torsi Terhadap Putaran Turbin.....	38
4.3.3 Daya Turbin Terhadap Putaran Turbin.....	43
4.3.4 Efisiensi Terhadap Putaran Turbin	49
4.3.5 Coefficient of Power Terhadap Tip Speed Ratio.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	63
BIODATA PENULIS.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kapasitas Pembangkit Listrik per Jenis Energi Tahun 2018.....	1
Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).....	5
Gambar 2.2 Turbin dengan Berbagai Jumlah Sudu.....	9
Gambar 2. 3 Poros	9
Gambar 2. 4 Bantalan	10
Gambar 2. 5 Nozzle pada Turbin Impuls	10
Gambar 2.6 Rumah Turbin Pada Turbin Crossflow	11
Gambar 2.7 Turbin Crossflow	12
Gambar 2.8 Turbin Pelton	13
Gambar 2.9 Turbin Turgo.....	13
Gambar 2.10 Turbin Francis.....	14
Gambar 2.11 Turbin Propeller.....	15
Gambar 2.12 Turbin Vortex	16
Gambar 2. 13 Skema Perhitungan Torsi.....	17
Gambar 3.1 Desain Rancangan <i>Assembly</i> Pengujian	22
Gambar 3.2 Desain Rangka Pengujian Turbin Vortex	23
Gambar 3.3 Desain Basin	24
Gambar 3.4 Grafik Efisiensi Terhadap Sudut Stagger	24
Gambar 3.5 Desain <i>Curved Blade Stagger</i>	25
Gambar 3.6 Curved Blade Stagger 0°.....	25
Gambar 3.7 Curved Blade Stagger 20°.....	25
Gambar 3.8 Inlet dengan Sudut 0°.....	26
Gambar 3.9 Inlet dengan Sudut 10°.....	26
Gambar 3.10 Metode Pengumpulan Data Putaran Turbin	27
Gambar 3.11 Metode Pengukuran Torsi	28
Gambar 3.12 Pembacaan Beban Pengereman pada Neraca	28
Gambar 3.13 5 Titik Pengukuran Kecepatan Aliran	29
Gambar 3.14 Metode Pengukuran Kecepatan Aliran.....	29
Gambar 4.1 Skema Perhitungan Torsi.....	32
Gambar 4.2 Titik Pengukuran Aliran Vortex	36
Gambar 4.3 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°	38
Gambar 4.4 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	39
Gambar 4.5 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°	41
Gambar 4.6 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	42
Gambar 4.7 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°	44
Gambar 4.8 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	45
Gambar 4.9 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°	47
Gambar 4.10 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	48

Gambar 4.11 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°	50
Gambar 4.12 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	51
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°	52
Gambar 4. 14 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	54
Gambar 4.15 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20° .	55
Gambar 4.16 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	56
Gambar 4.17 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20° .	58
Gambar 4.18 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia.....	4
Tabel 2.2 Potensi Energi Air sebagai PLTA per Wilayah.....	6
Tabel 2.3 Perkembangan Pemanfaatan Tenaga Air Periode 2014 - 2019.....	6
Tabel 2.4 Potensi Energi Air sebagai PLTMH per Wilayah.....	8
Tabel 3.1 Dimensi Basin.....	23
Tabel 3.2 Timeline Pengerjaan Proyek Akhir.....	30
Tabel 4.1 Data Penelitian.....	31
Tabel 4.2 Intensitas Aliran Vortex pada Tiap Variasi.....	37
Tabel 4.3 Data Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	38
Tabel 4.4 Data Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	39
Tabel 4.5 Data Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	40
Tabel 4.6 Data Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	42
Tabel 4.7 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	43
Tabel 4.8 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	45
Tabel 4.9 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	46
Tabel 4.10 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	48
Tabel 4.11 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	49
Tabel 4.12 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	51
Tabel 4.13 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	52
Tabel 4.14 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	53
Tabel 4.15 Data Cp vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	55
Tabel 4.16 Data Cp vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	56
Tabel 4.17 Data Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	57
Tabel 4.18 Data Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°.....	59

DAFTAR SIMBOL

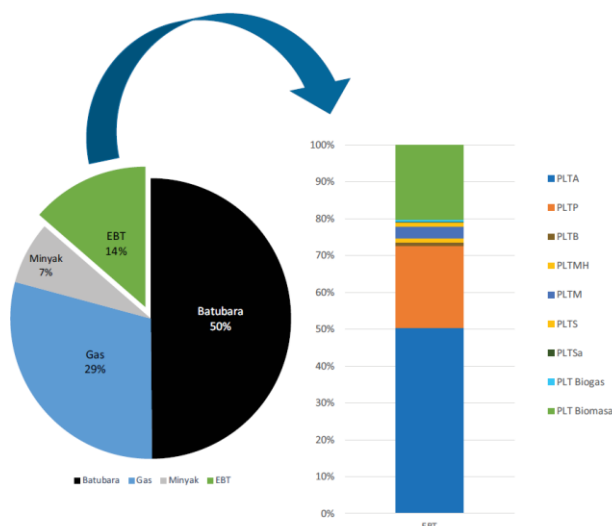
Q	(Kapasitas)	V_{θ}	(Kecepatan tangensial)
V	(Volume)	H	(Head)
t	(Waktu)	P_h	(Daya Air)
ρ	(Massa Jenis)	g	(Percepatan Gravitasi)
A	(Luas Permukaan Inlet)	P_t	(Daya Turbin)
τ	(Torsi)	η_t	(Efisiensi Turbin)
r	(Radius)	C_p	(Coefficient of Power)
ω	(Kecepatan Angular)	λ	(Tip Speed Ratio)
n	(Putaran Turbin)	v	(Kecepatan Air)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat berperan penting dalam kelangsungan hidup manusia pada zaman sekarang, berdasarkan data dari kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi listrik nasional terus mengalami peningkatan, pada 2015 konsumsinya baru 910 kilowat jam (kWh) per kapita. Kemudian meningkat menjadi 1.084 kWh/kapita pada 2019.

(Handbook Of Energy & Economic Statistics of Indonesia, 2018) menyebutkan bahwasannya kapasitas pembangkit tenaga listrik di Indonesia sampai dengan tahun 2018 mencapai 64,5 GW atau naik sebesar 3% dibandingkan kapasitas tahun 2017. Kapasitas terpasang pembangkit listrik tahun 2018 sebagian besar berasal dari pembangkit energi fosil khususnya batubara (50%), diikuti gas bumi (29%), BBM (7%) dan energi terbarukan (14%).



Gambar 1.1 Kapasitas Pembangkit Listrik per Jenis Energi Tahun 2018 (HEESI, 2018)

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil yang merupakan energi non-terbarukan. Energi non-terbarukan merupakan sumber energi alami yang tidak dapat ber-regenerasi secepat laju konsumsinya (Gyimah, J., 2021) atau sederhananya akan habis seiring berjalannya waktu, selain itu penggunaan bahan bakar fosil sebagaimana yang kita ketahui akan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan seperti penipisan lapisan ozon pada atmosfer (efek rumah kaca).

Indonesia sebagai salah satu dari 195 negara yang telah menyetujui Persetujuan Paris sebagai hasil dari Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa 2015 atau bisa disebut juga COP21 yang telah diadakan di Paris pada 30 November sampai 12 Desember 2015 memiliki kewajiban untuk mengurangi emisi sebagai bagian dari metode pengurangan gas rumah kaca. Tiap negara anggota sepakat untuk mengurangi produksi karbon secepat mungkin dan

melakukan yang terbaik untuk mempertahankan pemanasan global agar berada jauh di bawah 2°C. Pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit energi listrik dapat menjadi salah satu upaya yang mampu mendukung terjalannya pengurangan emisi yang akan dilakukan.

Kondisi topografi yang bergunung dan berbukit serta adanya danau/waduk yang menjadi hulu aliran sungai membuat Indonesia memiliki potensi energi air sebagai energi primer yang besar. Indonesia memiliki potensi energi air hingga 75.091 MW yang tersebar di seluruh Indonesia namun pemanfaatannya baru sekitar 7,2%. Sebagian besar pemanfaatan energi air yaitu sebagai pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sudah terbukti handal dan menyumbang persentase 66% dari total 7GW pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (Institute for Essential Services Reform, 2019).

Terdapat berbagai macam pembangkit yang memanfaatkan energi terbarukan, salah satunya pembangkit listrik tenaga mikrohidro, pembangkit jenis ini memanfaatkan aliran air untuk menggerakkan turbin air kemudian mengubah energi mekanik yang dihasilkan menjadi energi listrik oleh generator, pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil yang mampu menghasilkan daya sekitar 5KW - 100KW (Hoes, 2017). Turbin yang digunakan juga memiliki berbagai macam jenis dengan karakter yang berbeda, seperti Turbin Vortex, Turbin Crossflow, Turbin Francis, Turbin Kaplan, dll.

Turbin Vortex adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin Vortex bekerja pada head yang rendah 0,7m - 3m dengan debit 50L/s (Anjali, M., 2016). Turbin jenis ini sangat cocok digunakan untuk aliran sungai, karena kebanyakan sungai memiliki head yang rendah. Konstruksi turbin jenis ini cukup sederhana dan direkomendasikan untuk pemakaian energi listrik pada sejumlah rumah di daerah pedesaan.

Intensitas aliran vortex memberikan pengaruh pada optimalnya daya yang dihasilkan oleh turbin. Bentuk basin, sudut stagger, dan sudut inlet merupakan beberapa aspek yang mempengaruhi intensitas aliran vortex maupun daya yang dihasilkan, basin berbentuk kerucut cekung (*concave conical*) menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dari pada basin berbentuk kerucut cembung (*convex conical*) (Sanchez A. R., 2019), *curved blade stagger* memiliki efisiensi terbaik pada sudut 20° dengan hasil efisiensi 80% (Dhakal, R., 2017).

Penelitian proyek akhir ini menggunakan metode studi eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi sudut inlet 0° dan 10° juga *stagger* dengan sudut 0° dan 20° terhadap intensitas aliran vortex dan performa yang dihasilkan *water turbine vortex*.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut inlet 0° dan 10° menggunakan debit 200 lpm dan 230 lpm terhadap intensitas aliran vortex yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut inlet 0° dan 10°; *stagger* dengan sudut 0° dan 20° menggunakan debit 200 lpm dan 230 lpm terhadap performa *water turbine vortex*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah dari penelitian tugas akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Aliran steady dan incompressible.
2. Fluida kerja berupa air.
3. Debit konstan.
4. Basin berbentuk kerucut cekung (*concave conical*).
5. Menggunakan *curved blade stagger* dengan sudut 0° dan 20° .
6. Sudut inlet 0° dan 20° .
7. Debit 200 lpm dan 230 lpm.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah yang telah diuraikan maka tujuan penelitian dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut inlet 0° dan 10° menggunakan debit 200 lpm dan 230 lpm terhadap intensitas aliran vortex yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh variasi sudut inlet 0° dan 10° ; *stagger* dengan sudut 0° dan 20° menggunakan debit 200 lpm dan 230 lpm terhadap performa *water turbine vortex*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian proyek akhir yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai intensitas aliran vortex yang dihasilkan berdasarkan variasi yang digunakan.
2. Mendapatkan nilai performa *water turbine vortex* yang dihasilkan berdasarkan variasi yang digunakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik

Sesuai dengan namanya pembangkit listrik merupakan fasilitas industri yang menghasilkan suplai energi listrik, untuk menghasilkan energi listrik pembangkit listrik mentransformasikan sumber energi lain seperti halnya batu bara, gas, air, panas bumi, dll. Berdasarkan sumber energinya pembangkit listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu pembangkit listrik sumber energi non terbarukan dan pembangkit listrik sumber energi terbarukan.

2.1.1 Pembangkit Listrik Sumber Energi Non Terbarukan

Energi non-terbarukan merupakan sumber energi alami yang tidak dapat ber-regenerasi secepat laju konsumsinya (Gyimah, J., 2021) sederhananya energi ini akan habis seiring berjalannya waktu, pembangkit jenis ini memanfaatkan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik, salah satunya adalah batu bara yang digunakan untuk menjalankan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi pembangkit listrik yang paling mendominasi saat ini, berdasarkan data dari kementerian ESDM pada tahun 2018 pembangkit jenis ini mampu menghasilkan hingga 35,22 GW atau setara dengan 50% dari total kapasitas pembangkit listrik yang ada di Indonesia.

Namun dengan mendominasinya bahan bakar fosil dalam menghasilkan energi listrik juga memberikan dampak yang buruk terhadap lingkungan dikarenakan gas buang atau emisi karbon yang dihasilkan akan mencemari udara sehingga terjadi efek rumah kaca.

2.1.2 Pembangkit Listrik Sumber Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang diambil dari sumber daya yang dapat diperbaharui, yang secara alamiah akan terisi secara terus menerus dan berulang selama kehidupan manusia (Ellaban, O., 2014) seiring berjalannya perkembangan teknologi pemanfaatan sumber energi terbarukan juga terus meningkat karena memberikan dampak yang ramah terhadap lingkungan.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2021 mencatat Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar, yakni mencapai 417,8 gigawatt (GW), dengan rincian yang dapat dilihat pada tabel berikut:

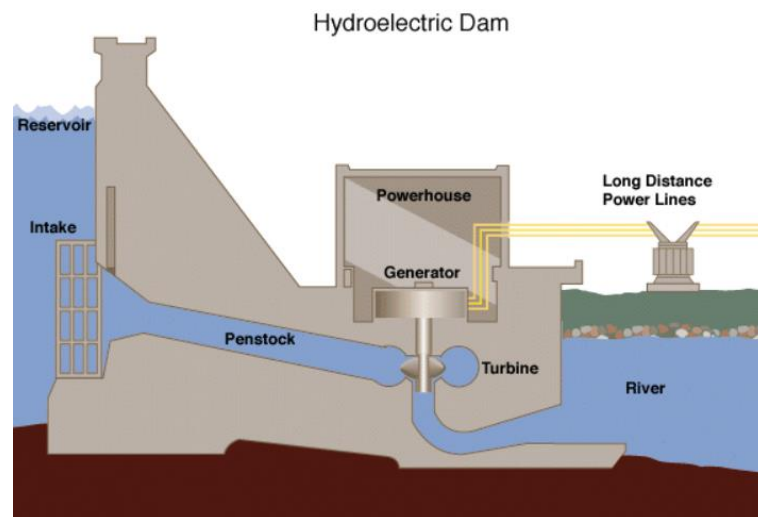
Tabel 2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia
(Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021)

<i>Jenis Energi Terbarukan</i>	Potensi Daya (GW)
<i>Arus Laut Samudra</i>	17,9
<i>Bioenergi</i>	32,6
<i>Angin</i>	60,6
<i>Air</i>	75
<i>Matahari</i>	207,8

Indonesia sebagai salah satu dari 195 negara yang telah menyetujui Persetujuan Paris sebagai hasil dari Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa 2015 atau bisa disebut juga COP21 yang telah diadakan di Paris pada 30 November sampai 12 Desember 2015 memiliki kewajiban untuk mengurangi emisi sebagai bagian dari metode pengurangan gas rumah kaca. Tiap negara anggota sepakat untuk mengurangi produksi karbon secepat mungkin dan melakukan yang terbaik untuk mempertahankan pemanasan global agar berada jauh di bawah 2°C. Pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit energi listrik dapat menjadi salah satu upaya yang mampu mendukung terjalannya pengurangan emisi yang akan dilakukan.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air

PLTA memanfaatkan aliran air untuk dapat memutar turbin. Mekanisme kerja PLTA cukup sederhana, yaitu memanfaatkan energi potensial dan kinetik air untuk menghasilkan putaran pada turbin. Air dikumpulkan pada suatu area (reservoir) yang berada pada ketinggian tertentu. Turbin yang menjadi komponen utama untuk menghasilkan energi listrik terletak di dalam bangunan powerhouse yang berada pada ketinggian yang lebih rendah dari reservoir. Saluran air (penstock) menghubungkan reservoir dengan powerhouse. Adanya perbedaan ketinggian antara reservoir dan powerhouse memungkinkan air mengalir di dalam saluran air dari reservoir menuju powerhouse. Di dalam powerhouse, aliran air dari reservoir tadi memungkinkan turbin air yang telah terhubung ke generator untuk berputar, listrik pun dapat dihasilkan.



Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
(Tennessee Valley Authority, 2021)

Indonesia yang memiliki topografi bergunung dan berbukit memiliki peluang potensi energi air yang besar. Potensi energi air di Indonesia diperkirakan mencapai 94.449 MW. Potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTA 75.091

MW sementara yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTM dan PLTMH mencapai 19.358 MW (Harsoyo, B., 2015).

Tabel 2.2 Potensi Energi Air sebagai PLTA per Wilayah (ESDM, 2017)

No.	Wilayah/Provinsi	Potensi (MW)
1	Papua	22.371
2	Kalimantan (Selatan, Tengah, dan Timur)	16.844
3	Sulawesi (Selatan dan Tenggara)	6.340
4	Aceh	5.062
5	Kalimantan Barat	4.737
6	Sulawesi (Utara dan Tengah)	3.967
7	Sumatera Utara	3.808
8	Sumatera Barat, Riau	3.607
9	Sumatera Selata, Bengkulu, Jambi, Lampung	3.102
10	Jawa Barat	2.861
11	Jawa Tengah	813
12	Jawa Timur	525
13	Bali, NTB, NTT	624
14	Maluku	430
Total		75.091

Besarnya potensi energi air di Indonesia belum dikelola secara maksimal. Berdasarkan laporan Ditjen Ketenagalistrikan Januari 2020 energi air di Indonesia yang telah dimanfaatkan hingga tahun 2019 sebesar 5.976,03 MW atau sekitar 6,4% dari total potensi yang ada. Sementara itu untuk mengupayakan bauran energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional 2017 pemerintah mengupayakan penambahan kapasitas pembangkit listrik tenaga air sebagaimana tercantum pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perkembangan Pemanfaatan Tenaga Air Periode 2014 - 2019 (Ditjen Ketenagalistrikan, 2020)

Jenis Pembangkit	Kapasitas Terpasang (MW)					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PLTA	5.048,59	5.068,59	5.343,59	5.343,59	5.399,59	5.558,52
PLTM	111,26	148,71	211,40	240,55	267,79	311,14
PLTMH	76,95	90,15	95,87	103,76	104,76	106,36
Total	5.236,81	5.307,46	5.650,86	5.687,91	5.772,15	5.976,03

Selain Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), energi air juga dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yaitu dengan memanfaatkan aliran sungai atau irigasi yang dibedakan berdasarkan daya yang dapat dihasilkan. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) menghasilkan daya 200 KW - 1 MW sedangkan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menghasilkan daya 5 KW - 200 KW.

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial, PLTMH mudah diterima masyarakat luas. PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung, atau air terjun.

Berdasarkan data dari kementerian ESDM pada tahun 2017 potensi energi air yang dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) mencapai 19.358 MW yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, Jawa Timur menempati posisi ke 6 dengan total daya yang dapat dihasilkan sebesar 1.142 MW, untuk lebih detailnya dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Potensi Energi Air sebagai PLTMH per Wilayah
(ESDM 2017)

No.	Wilayah/Provinsi	Potensi
1	Kalimantan Timur	3.562
2	Kalimantan Tengah	3.313
3	Aceh	1.538
4	Sumatera Barat	1.353
5	Sumatera Utara	1.204
6	Jawa Timur	1.142
7	Jawa Tengah	1.044
8	Kalimantan Utara	943
9	Sulawesi Selatan	762
10	Jawa Barat	647
11	Papua	615
12	Sumatera Selatan	448
13	Jambi	447
14	Sulawesi Tengah	370
15	Lampung	352
16	Sulawesi Tenggara	301
17	Riau	284
18	Maluku	190
19	Kalimantan Selatan	158
20	Kalimantan Barat	124
21	Gorontalo	117
22	Sulawesi Utara	111
23	Bengkulu	108
24	Nusa Tenggara Timur	95
25	Banten	72
26	Nusa Tenggara Barat	31
27	Maluku Utara	24
28	Bali	15
29	Sulawesi Barat	7
30	D.I. Yogyakarta	5
31	Papua Barat	3
Total		19.385

2.3 Turbin Air

Dalam sebuah sistem PLTA, turbin air merupakan salah satu peralatan utama selain generator. Turbin air adalah alat yang dirancang untuk merubah energi potensial air menjadi energi puntir. Energi puntir inilah yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air adalah mesin penggerak, dimana energy fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Jadi berbeda

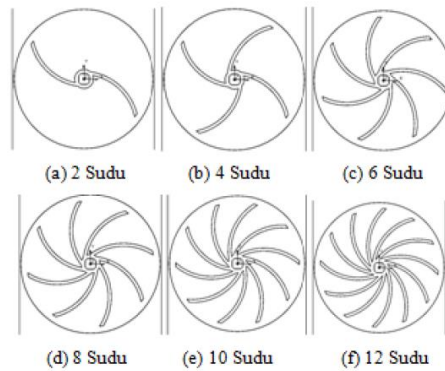
dengan yang terjadi dengan mesin torak, pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamakan rotor atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak bergerak dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar beban (genertor listrik, baling - baling, dan lain - lain).

Seperti yang disebutkan sebelumnya terdapat dua komponen utama dari turbin air, berikut akan dijelaskan secara spesifik mengenai komponen tersebut:

a. Rotor

Merupakan bagian yang mengalami gerakan memutar pada sistem turbin air, meliputi:

- Sudu - Sudu, berfungsi sebagai penerima beban aliran yang disemprotkan oleh nozzle.



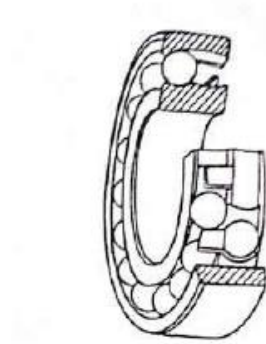
Gambar 2.2 Turbin dengan Berbagai Jumlah Sudu (Hamzah, I, 2016)

- Poros, berfungsi sebagai penerus tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.



Gambar 2. 3 Poros (Suhartono, 2018)

- Bantalan atau Bearing, berfungsi sebagai penyekat tiap komponen agar tidak terjadi kebocoran pada sistem dan mengoptimalkan putaran yang dihasilkan.

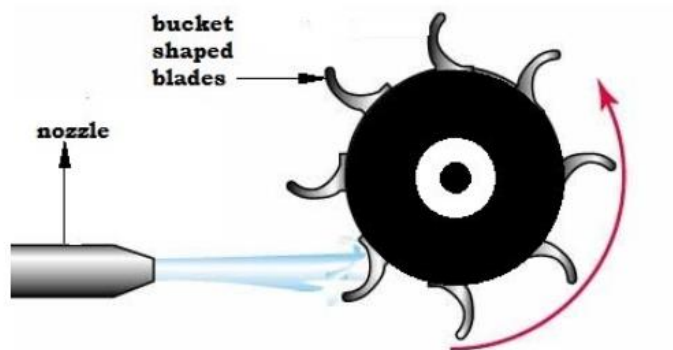


Gambar 2. 4 Bantalan
(Sularso, 1978)

b. Stator

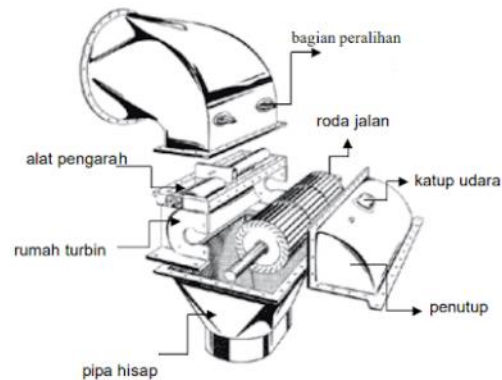
Merupakan bagian yang tidak mengalami gerakan pada saat sistem turbin air bekerja, meliputi:

- Nozzle, berfungsi sebagai penerus aliran fluida agar tekanan dan kecepatan fluida yang dihasilkan didalam sistem menjadi lebih optimal.



Gambar 2. 5 Nozzle pada Turbin Impuls
(Ashumech, 2014)

- Rumah Turbin atau Casing, berfungsi sebagai rumah atau dudukan komponen turbin.



Gambar 2.6 Rumah Turbin Pada Turbin Crossflow
(Gibran, 2014)

Berdasarkan prinsip kerjanya dalam mengubah energi potensial menjadi energi mekanik turbin air dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

2.3.1 Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozle tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Terdapat beberapa contoh turbin impuls, berikut akan diuraikan beberapa contohnya.

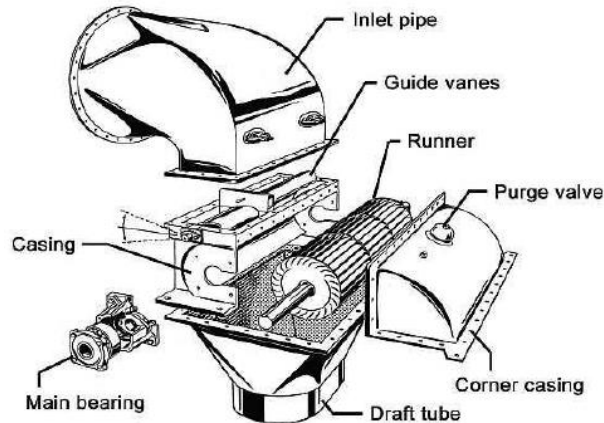
2.3.1.1 Turbin Crossflow

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin crossflow. Turbin crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³/sec dan head antara 1 s/d 200 m.

Turbin aliran pemasukan air ke sudu turbin secara radial. Air dialirkan melewati sudu-sudu jalan yang membentuk silinder, pertama-tama air dari luar masuk ke dalam silinder sudu-sudu dan kemudian dari dalam ke luar. Jadi kerjanya roda jalan turbin ini adalah seperti turbin pelton yaitu hanya sebagian sudu-sudu saja bekerja membalikkan aliran air.

Turbin Crossflow menggunakan nozzle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk)

kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.



Gambar 2.7 Turbin Crossflow
(Gibran, 2014)

2.3.1.2 Turbin Pelton

Turbin Pelton disebut juga turbin impuls atau turbin tekanan rata atau turbin pancaran bebas karena tekanan air keluar nozzle sama dengan tekanan atmosfer. Dalam instalasi turbin ini semua energi dirubah menjadi kecepatan keluar nozzle. Energi yang masuk kedalam roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Ketika melewati roda turbin, energi kinetik tadi dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi ada yang terlepas dan ada yang digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin.

Semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada sudu roda jalan. Kecepatan pancaran air dari nozzle adalah sebagai berikut;

Ukuran-ukuran utama turbin pelton adalah diameter lingkaran sudu yang terkena pancaran air, disingkat diameter lingkaran pancar dan diameter pancaran air. Pengaturan nozzle akan menentukan kecepatan dari turbin. Untuk turbin-turbin yang bekerja pada kecepatan tinggi jumlah nozzle diperbanyak. Hubungan antara jumlah nozzle dengan kecepatan spesifik adalah sebagai berikut.

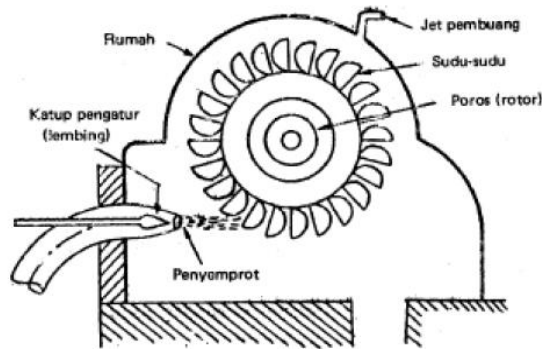
Turbin Pelton biasanya berukuran besar. Hal ini dapat dimaklumi karena turbin tersebut dioperasikan pada tekanan tinggi dan perubahan momentum yang diterima oleh sudu-sudu turbin sangat besar, sehingga dengan sendirinya struktur turbin harus kuat. Pada turbin Pelton, semua energi tinggi tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin telah diubah menjadi energi kecepatan.

Turbin Pelton terdiri dari dua bagian utama yaitu nozzle dan roda jalan (runner). Nozzle mempunyai beberapa fungsi, yaitu mengarahkan pancaran air ke sudu turbin, mengubah tekanan menjadi energi kinetik dan mengatur kapasitas kecepatan air yang masuk turbin.

Jarum yang terdapat pada nozzle berguna untuk mengatur kapasitas air dan mengarahkan konsentrasi air yang terpancar dari mulut nozzle. Panjang jarum

sangat menentukan tingkat konsentrasi dari air, semakin panjang jarum nozzle maka air akan semakin terkonsentrasi untuk memancarkan ke sudu jalan turbin.

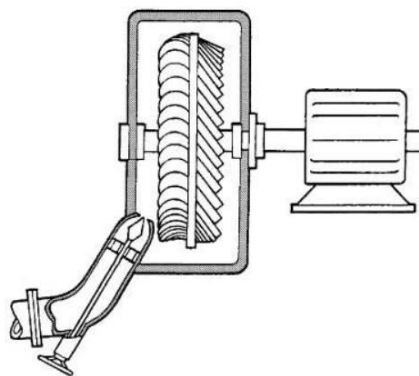
Roda jalan pada turbin berbentuk pelek (rim) dengan sejumlah sudu sekelilingnya. Pelek ini dihubungkan dengan poros dan seterusnya akan menggerakkan generator. Sudu turbin Pelton berbentuk elipsoidal atau disebut juga dengan bucket dan ditengahnya mempunyai pemisah air (splitter).



Gambar 2.8 Turbin Pelton
(Gibran, 2014)

2.3.1.3 Turbin Turgo

Turbin Turgo dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari nozzle membentur sudu pada sudut 20 o. Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin Pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.



Gambar 2.9 Turbin Turgo
(Gibran, 2014)

2.3.2 Turbin Reaksi

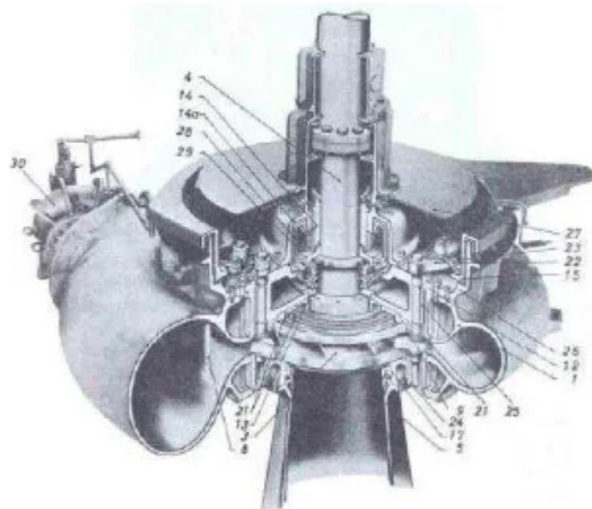
Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang

menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

2.3.2.1 Turbin Francis

Turbin Francis merupakan turbin jenis reaksi yang bekerja karena tekanan pada roda turbin yang mengakibatkan roda turbin berputar dimana aliran air melalui rumah keong yang diarahkan dengan sudu pengarah menuju sudu jalan dari roda turbin.

Daya yang dihasilkan oleh turbin dapat diatur dengan cara mengatur posisi sudu diam, sehingga aliran air yang menumbuk roda turbin dapat diatur. Prinsip kerja dari turbin Francis ialah memanfaatkan energi jatuh air untuk memutar roda turbin. Roda turbin berputar dikarenakan cairan yang ada diantara sudu roda turbin memiliki energi mekanis, partikel cairan ini memiliki kecepatan keliling U dengan arah menyinggung lingkaran. Akibatnya, timbulah gaya sentrifugal. Dengan meningkatnya gaya sentrifugal membuat partikel cairan bergerak menuju pusat dari roda turbin dengan kecepatan relative W yang arahnya menyinggung permukaan sudu. Sedangkan kecepatan absolute C merupakan penjumlahan geometris dari U dan W .

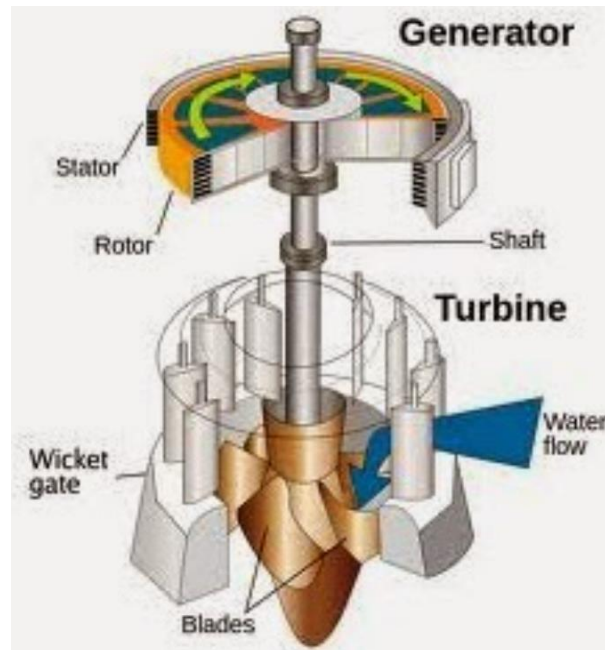


Gambar 2.10 Turbin Francis
(Fritz Dietzel, 1992)

2.3.2.2 Turbin Propeller

Pada dasarnya turbin propeller terdiri dari sebuah propeller (baling-baling), yang sama bentuknya dengan baling-baling kapal laut, yang dipasang pada tabung setelah pipa pesat. Turbin propeller biasanya mempunyai tiga sampai enam sudu, biasanya tiga sudu untuk turbin yang mempunyai head sangat rendah dan aliran air diatur oleh sudu statis atau wicket gate yang dipasang tepat di hulu propeller. Turbin propeller ini dikenal sebagai fixed blade axial flow turbine karena sudut sudu

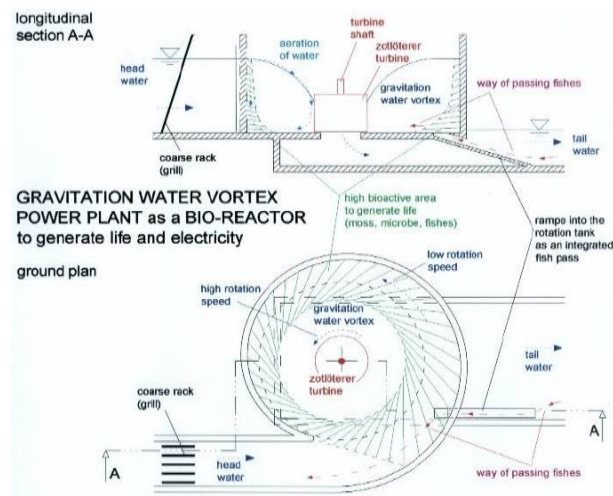
rotornya tidak dapat diubah. Efisiensi operasi turbin pada beban sebagian (part-flow) untuk turbin jenis ini sangat rendah.



Gambar 2.11 Turbin Propeller
(Gibran, 2014)

2.3.2.3 Turbin Vortex

Turbin ini dinamakan sebagai Gravitation water vortex power plant (GWVPP) oleh penemunya Frans Zotleterer berkebangsaan Austria, tetapi nama turbin ini dikenal juga sebagai turbin vortex atau turbin pusaran air. Sesuai dengan namanya pusaran air, turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan membentuk aliran pusaran air. Ketinggian air (head) yang diperlukan untuk turbin ini 0,7 – 2 m dan debit berkisar 1000 liter per detik. Turbin ini sederhana, mudah dalam perawatannya, kecil, kuat, dan bertahan hingga 50 – 100 tahun.



Gambar 2.12 Turbin Vortex
(Zotlöterer, F., 2002)

2.4 Persamaan untuk Pengolahan Data

Persamaan disini berisi rumus - rumus perhitungan yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam mengolah data yang akan diambil.

2.4.1 Debit

Debit adalah volume per satuan waktu, perhitungan debit dapat dilakukan dengan persamaan berikut: (Pritchard dan Leylegian, 2011)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Dimana:

- Q : Debit (m^3/s)
- V : Volume (m^3)
- t : Waktu (s)

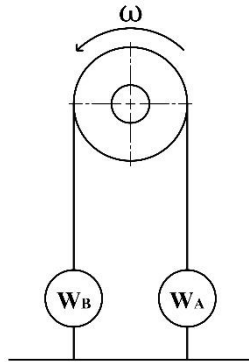
2.4.2 Torsi

Torsi adalah gaya yang bekerja pada suatu benda yang menyebabkan benda bergerak melingkar atau berotasi, perhitungan torsi dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\tau = (W_A - W_B)r \quad (2.2)$$

Dimana:

- τ : Torsi (Nm)
- W_A : Beban A (N)
- W_B : Beban B (N)
- r : Jari - Jari Pulley (m)



Gambar 2. 13 Skema Perhitungan Torsi

2.4.3 Kecepatan Angular

Kecepatan angular adalah perubahan posisi sudut benda yang bergerak melingkar tiap satu satuan waktu, perhitungan kecepatan angular pada turbin dapat dilakukan dengan persamaan berikut: (R.S. Khurmi dan J.K. Gupta, 2005)

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.3)$$

Dimana:

- ω : Kecepatan Angular (rad/s)
- π : Phi (3.14)
- n : Putaran (rpm)

2.4.4 Daya Air

Daya air adalah daya yang dibutuhkan turbin untuk berputar pada kecepatan tertentu, perhitungan daya air dapat dilakukan dengan persamaan berikut: (Friez Dietzel, 1980)

$$P_h = \rho \times g \times H \times Q \quad (2.4)$$

Dimana:

- P_h : Daya Air (Watt)
- ρ : Massa Jenis Air (1000 kg/m³)
- g : Percepatan Gravitasi (9.81 m/s²)
- H : Head (m)
- Q : Debit (m³/s)

2.4.5 Daya Turbin

Perhitungan daya turbin dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut: (Pitchard dan Leylegian, 2012)

$$P_t = \tau \times \omega \quad (2.5)$$

Dimana:

- P_t : Daya Turbin (Watt)
- τ : Torsi (Nm)
- ω : Kecepatan Angular (rad/s)

2.4.6 Efisiensi

Perhitungan efisiensi turbin dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: (Pitchard dan Leylegian, 2012)

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \times 100 \quad (2.6)$$

Dimana:

- η_t : Efisiensi (%)
- P_t : Daya Turbin (Watt)
- P_h : Daya Air (Watt)

2.4.7 Coefficient of Power

Coefficient of Power adalah perbandingan daya input dengan daya yang dihasilkan turbin, perhitungan koefisien power dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut: (Jones, B., 1950)

$$C_p = \frac{P_t}{P_h} \quad (2.7)$$

Dimana:

- C_p : Coefficient of Power
- P_t : Daya Turbin (Watt)
- P_h : Daya Air (Watt)

2.4.8 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio adalah perbandingan kecepatan rotor dengan kecepatan air, perhitungan tip speed ratio dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: (Regheb, 2014)

$$\lambda = \frac{\omega r}{V} \quad (2.8)$$

Dimana:

- λ : Tip Speed Ratio
- ω : Kecepatan Angular (rad/s)
- r : Jari - Jari Turbin (m)
- V : Kecepatan Aliran Air (m/s)

2.4.9 Intensitas Aliran Vortex

Perhitungan Intensitas Aliran Vortex dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Gamma_v = 2 \times \pi \times r \times V \quad (2.9)$$

Dimana:

Γ_v : Intensitas Aliran Vortex (m²/s)

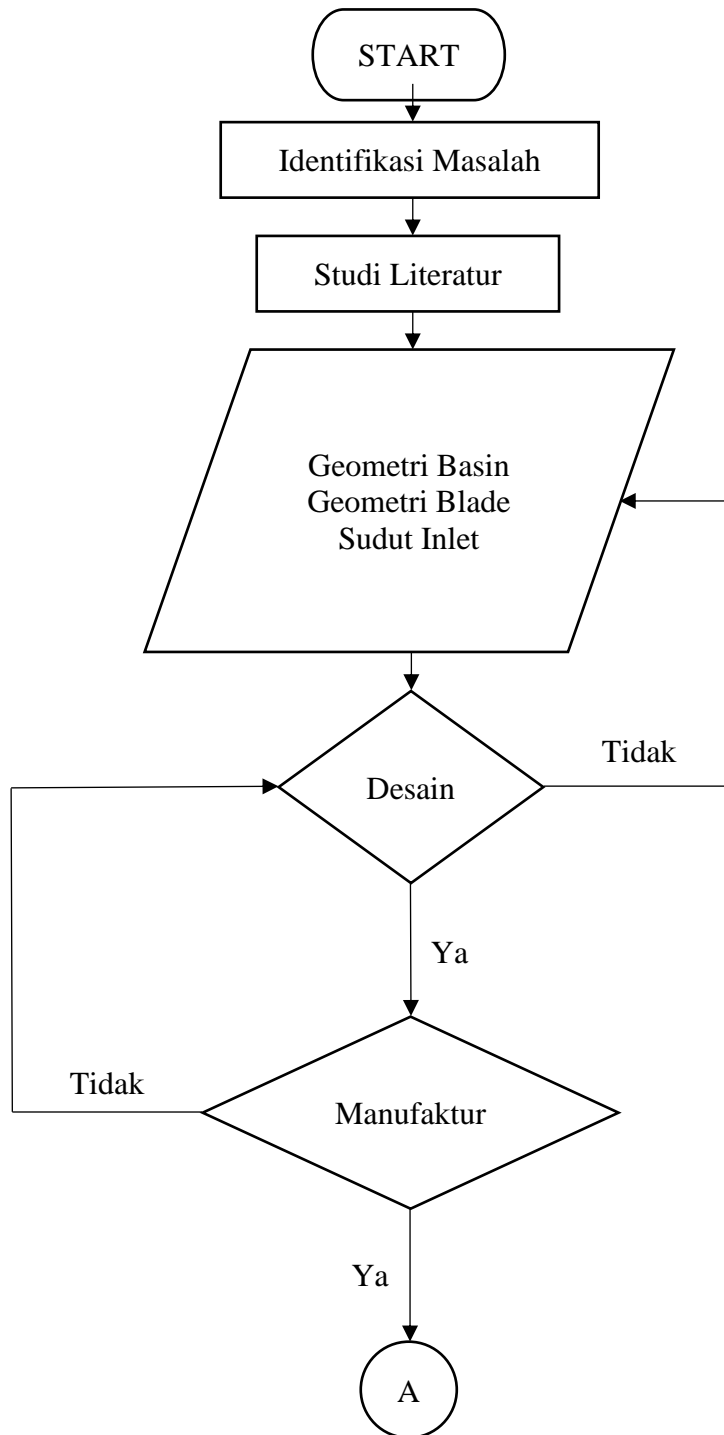
π : Phi (3.14)

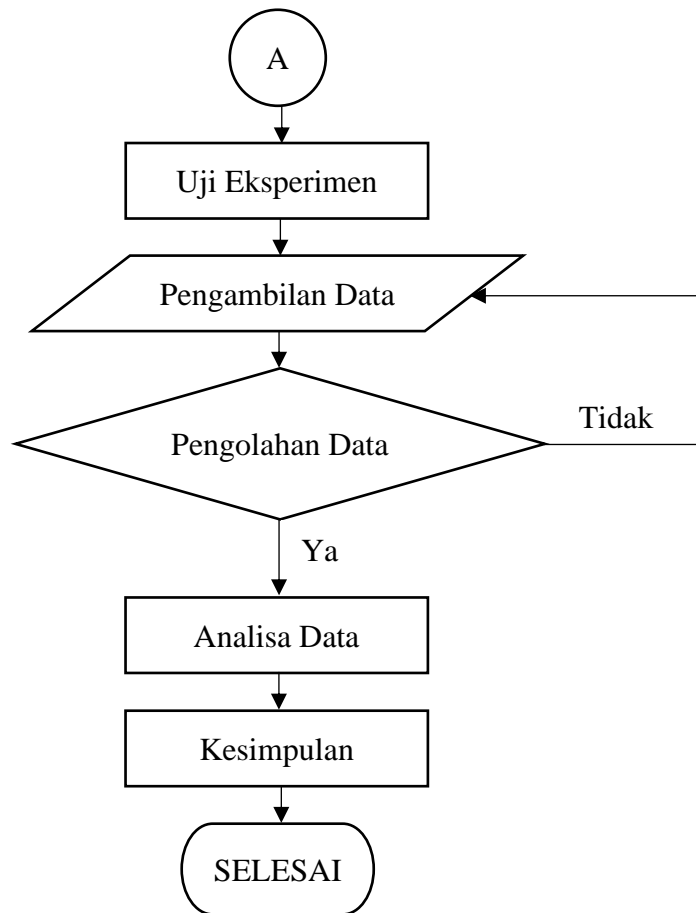
r : Jari - Jari Basin (m)

V : Kecepatan Aliran (m/s)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian





3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah langkah pertama sebelum melakukan penelitian dengan tujuan untuk menentukan dasar teori yang akan digunakan selama penelitian. studi literatur dilakukan dengan membaca buku, jurnal, dan penelitian terdahulu dengan topik yang sesuai untuk menunjang penelitian ini. Studi literatur juga dilakukan untuk mengumpulkan data dari geometri basin, blade, dan inlet.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah objek atau nilai yang memiliki variasi tertentu, variabel penelitian ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian dapat diambil kesimpulannya (Sugiyono, 2014). Terdapat tiga jenis variabel pada sebuah penelitian meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol, berikut akan dijabarkan variabel yang akan digunakan secara terperinci.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi perubahan pada variabel terikat, pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Variasi sudut inlet 0° dan 10° .
2. Variasi *curved blade stagger* sudut 0° dan 20° .
3. Variasi debit 200 lpm dan 230 lpm

b. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas, pada penelitian ini variabel terikat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Intensitas aliran vortex.
2. Daya Turbin.
3. Efisiensi Turbin

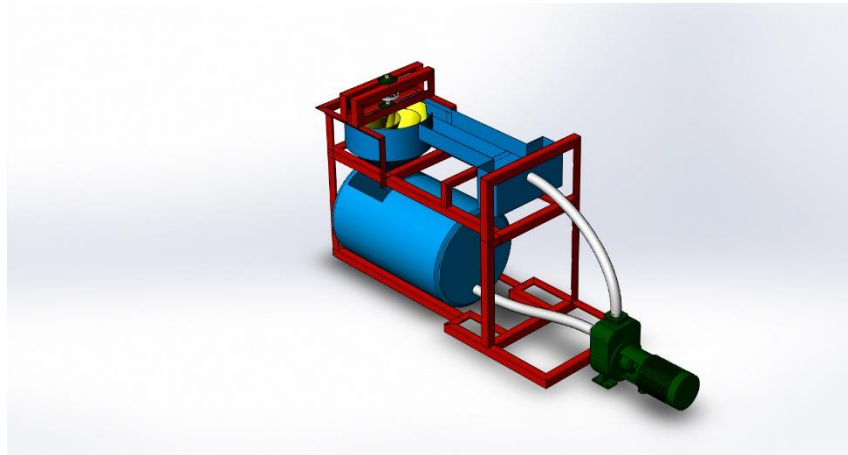
c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang sifatnya tetap sehingga nantinya variabel bebas dan variabel terikat tidak mendapatkan pengaruh dari faktor lain yang tidak berkaitan, pada penelitian ini variabel kontrol yang digunakan meliputi:

1. Fluida kerja berupa air.
2. Geometri basin.
3. Debit konstan.

3.4 Proses Desain

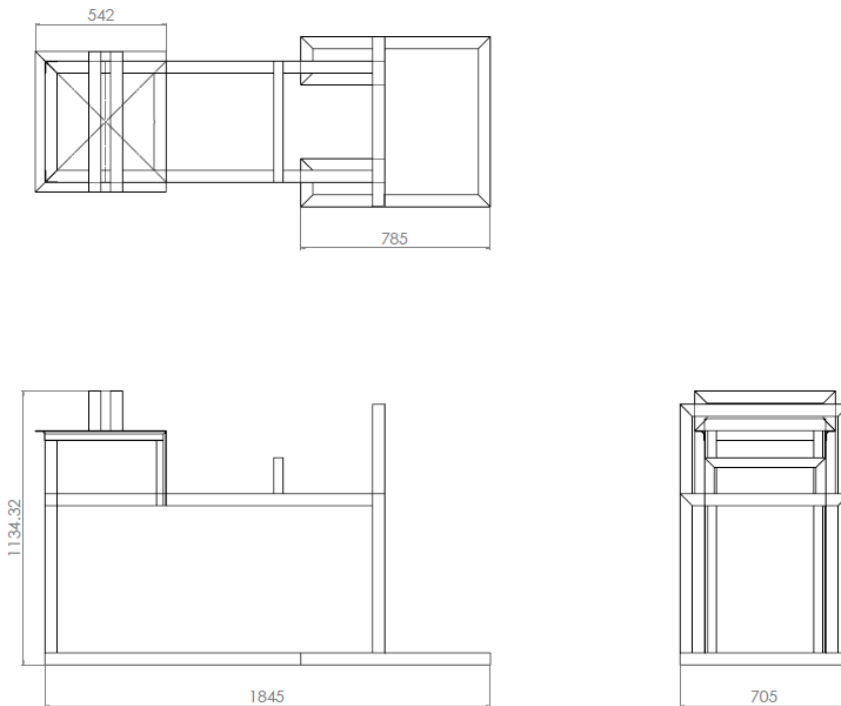
Proses desain dilakukan menggunakan aplikasi *Solidworks* dengan geometri berdasarkan referensi jurnal. Berikut akan dijelaskan lebih rinci mengenai detail desain komponen water turbine vortex yang akan dibuat.



Gambar 3.1 Desain Rancangan *Assembly* Pengujian

3.4.1 Rangka

Rangka yang dibuat digunakan sebagai penopang seluruh komponen saat pengujian dilakukan, rangka yang dibuat menggunakan besi siku berukuran 40mm x 40mm dengan ketebalan 3mm.



Gambar 3.2 Desain Rangka Pengujian Turbin Vortex

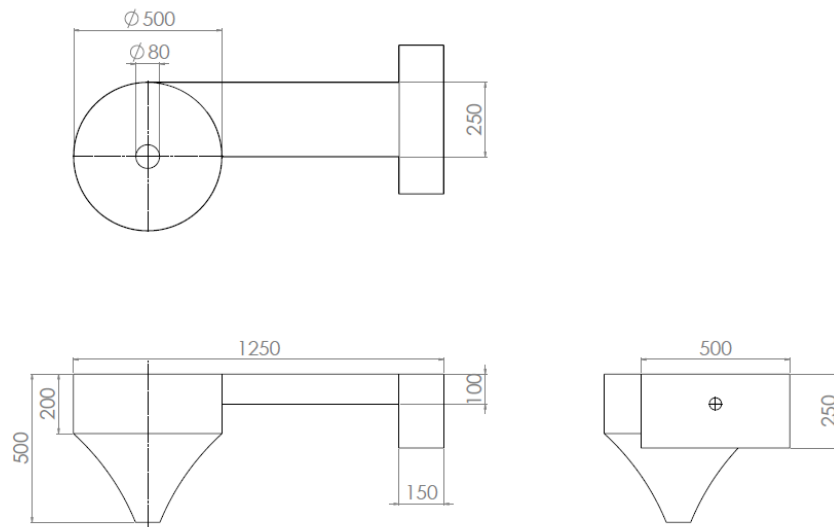
3.4.2 Basin

Power output maksimal dapat diperoleh dari basin dengan rasio outlet diameter pada angka 14% - 18% dari diameter inlet basin (Dhakar, R, dkk, 2018), sehingga untuk geometri basin yang akan dibuat pada penelitian ini memiliki rincian dimensi seperti pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Dimensi Basin

<i>Keterangan</i>	Dimensi (mm)
<i>Diameter Inlet</i>	500
<i>Diameter Outlet</i>	80
<i>Ketinggian Basin</i>	500

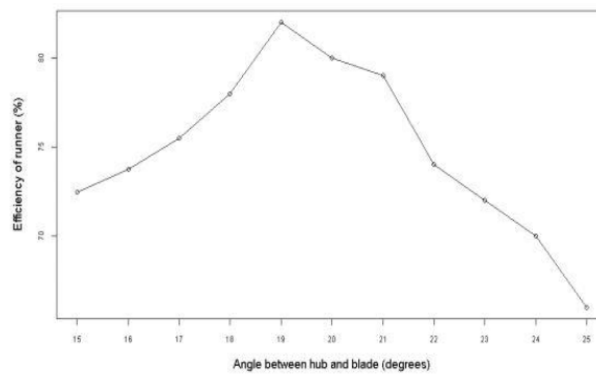
Sedangkan untuk profil basin memiliki intensitas aliran vortex terbaik dengan bentuk kerucut cekung (concave conical) (Alejandro Ruiz Sanchez, 2019). Sehingga pada penelitian ini akan digunakan basin dengan profil berbentuk kerucut cekung (concave conical).



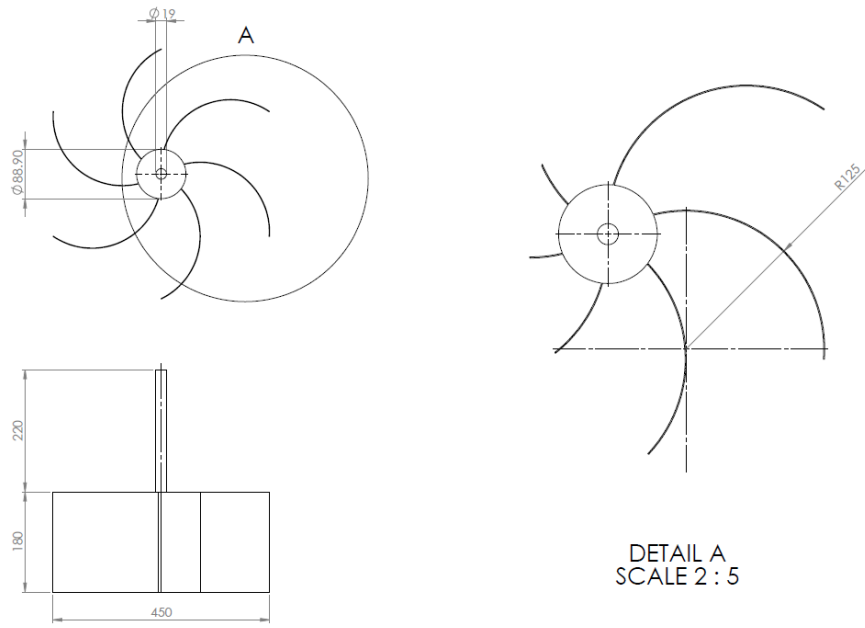
Gambar 3.3 Desain Basin

3.4.3 Turbin

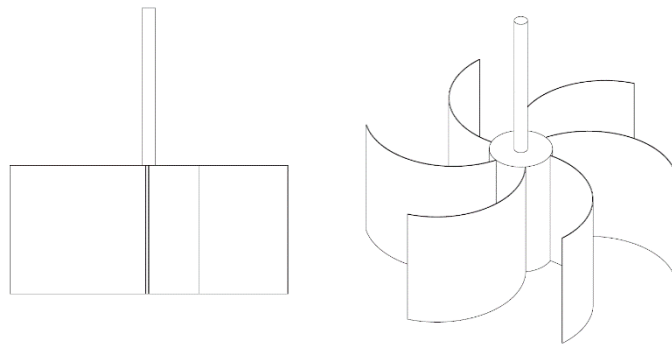
Curved blade stagger memiliki efisiensi terbaik pada sudut 20° dengan hasil efisiensi 80% (Dhakal, R., 2017). Berdasarkan grafik penelitian yang telah dilakukan bahwasannya pada sudut $18^\circ - 22^\circ$ memiliki hasil penurunan yang tidak terlalu signifikan, sehingga sudut stagger dari blade yang akan digunakan variasi pada sudut 0° dan 20° .



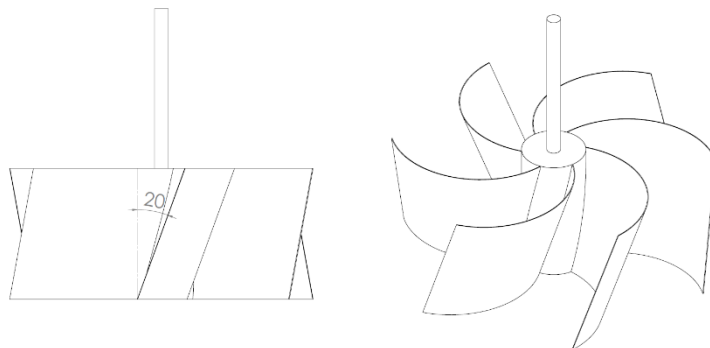
Gambar 3.4 Grafik Efisiensi Terhadap Sudut Stagger (Dhakal, R., 2017)



Gambar 3.5 Desain *Curved Blade Stagger*



Gambar 3.6 Curved Blade Stagger 0°

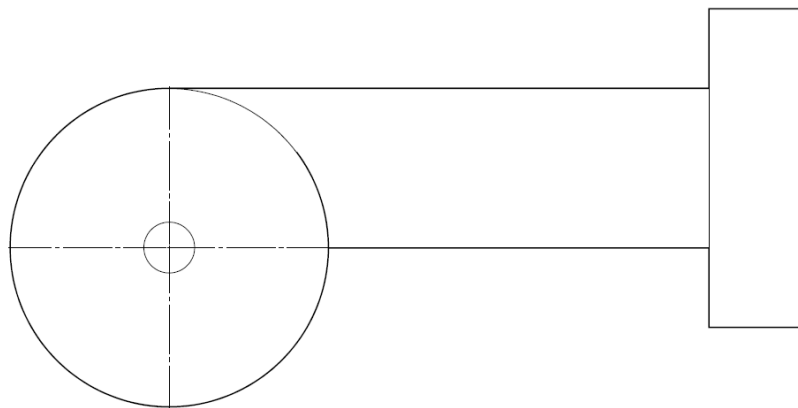


Gambar 3.7 Curved Blade Stagger 20°

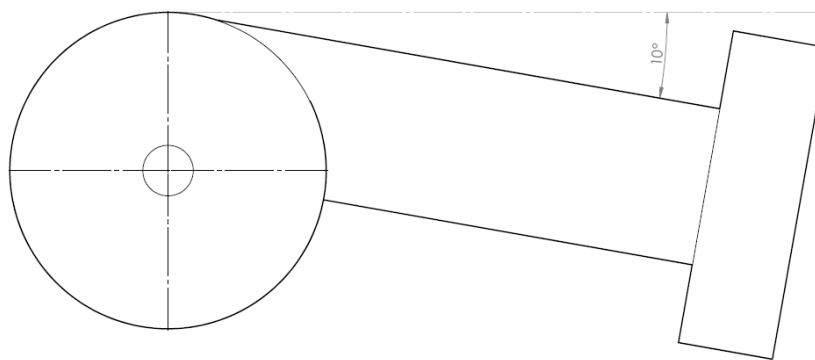
3.4.4 Inlet

Basin yang mempunyai sudut inlet besar, artinya pada area mendekati inlet mempunyai ukuran yang semakin mengecil akan menyebabkan peningkatan kecepatan aliran air ketika mendekati inlet (Abdul Samad Saleem, et. al., 2020)

Pada penelitian yang dilakukan Alejandro Ruiz Sanchez mengenai desain basin, sudut inlet yang digunakan adalah $12,5^\circ$ sehingga pada penelitian ini sudut inlet akan divariasikan menjadi 0° dan 10° dan nantinya akan dilihat pada sudut berapa daya terbaik dapat dihasilkan.



Gambar 3.8 Inlet dengan Sudut 0°



Gambar 3.9 Inlet dengan Sudut 10°

3.4.5 Shaft dan Pulley

Shaft atau poros merupakan suatu elemen mesin berotasi yang digunakan untuk menyalurkan daya dari suatu part yang menghasilkan daya menuju part yang menerima daya. Sedangkan pulley merupakan suatu part untuk menyalurkan daya dari poros menuju suatu kabel/belt. Dalam design ini, poros menyalurkan daya dari runner menuju pulley, sedangkan pulley menyalurkan daya dari poros menuju pembebanan dan neraca pegas. Pulley yang dipakai dalam desain ini memiliki diameter sebesar 10 cm, sedangkan shaft berdiameter 19 mm.

3.5 Langkah Pengujian

Terdapat beberapa hal yang perlu dipersiapkan dalam pengujian water turbine vortex, berikut langkah langkah yang perlu dilakukan.

3.5.1 Sebelum Pengujian

1. Memastikan tiap komponen *water turbine vortex* terpasang dengan baik.
2. Persiapkan alat ukur yang akan digunakan dan pastikan alat ukur berfungsi dengan baik.
3. Pastikan tidak terjadi kebocoran pada instalasi *water turbine vortex*.

3.5.2 Selama Pengujian

1. Pasangkan inlet dan runner sesuai dengan variasi yang akan digunakan.
2. Tutup bagian outlet agar air dapat memenuhi basin saat pompa bekerja.
3. Nyalakan pompa hingga air hampir memenuhi basin.
4. Saat runner sudah terendam air, buka bagian outlet agar air dapat mengalir keluar.
5. Pastikan aliran sudah stabil dan *water turbine vortex* beroperasi dengan normal.
6. Ambil data yang diperlukan.
7. Setelah rangkaian percobaan selesai, matikan pompa hingga air dalam basin habis dan pastikan turbin berhenti berputar.
8. Lakukan kembali langkah dari awal sampai akhir menggunakan variabel sudut inlet yang tersisa.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode eksperimen, adapun beberapa data yang akan diambil dan dicatat adalah sebagai berikut:

3.6.1 Putaran Turbin

Putaran turbin diukur dengan menggunakan tachometer dengan sensor yang diarahkan pada poros yang berputar.



Gambar 3.10 Metode Pengumpulan Data Putaran Turbin

3.6.2 Beban Pengereman

Pengukuran beban pengereman pada penelitian ini didapat dengan menghitung selisih beban pada dua neraca yang digunakan untuk mengukur beban pengereman pada pulley yang ditempatkan pada poros turbin.



Gambar 3.11 Metode Pengukuran Torsi



Gambar 3.12 Pembacaan Beban Pengereman pada Neraca

3.6.3 Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan menggunakan *Current Flow Watch Meter* dengan 5 titik yang telah ditandai.



Gambar 3.13 5 Titik Pengukuran Kecepatan Aliran



Gambar 3.14 Metode Pengukuran Kecepatan Aliran

3.7 Teknik Pengolahan Data

Dalam Pengolahan data yang akan dilakukan adalah dengan menghitung beberapa persamaan berikut:

1. Kecepatan Angular.
2. Torsi.
3. Daya Air.
4. Daya Turbin.
5. Coefficient of Power.
6. Efisiensi Turbin.
7. Tip Speed Ratio.
8. Intensitas Aliran Vortex.

3.8 Teknik Analisis Data

Dalam analisis data akan dijelaskan mengenai analisis hasil eksperimen dari turbin vortex, yang meliputi;

1. Grafik dan analisa mengenai perbandingan intensitas aliran vortex dengan variabel bebas variasi sudut inlet.
2. Grafik dan analisa perbandingan C_p -TSR turbin vortex dengan variabel bebas variasi sudut inlet dan sudut *stagger*.

3.9 Timeline Pengerjaan Proyek Akhir

Tabel 3.2 Timeline Pengerjaan Proyek Akhir

No	Nama Kegiatan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
1	Identifikasi Masalah	■	■				
2	Studi Literatur	■	■	■	■		
3	Proses Desain		■	■	■		
4	Penyusunan Proposal Proyek Akhir		■	■	■	■	
5	Penyusunan PPT Proposal Proyek Akhir			■	■		
6	Latihan Presentasi			■			
7	Seminar Proposal Proyek Akhir			■			
8	Revisi			■	■		
9	Proses Manufaktur		■	■	■	■	
10	Uji Eksperimen & Pengambilan Data					■	■
11	Pengolahan Data					■	
12	Analisa Data					■	
13	Penyusunan Laporan Proyek Akhir				■	■	■
14	Penyusunan PPT Proyek Akhir						■
15	Latihan Presentasi						■
16	Sidang Proyek Akhir						■
17	Revisi						■

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Tabel 4.1 Data Penelitian

Keterangan	Nilai
Debit	200lpm dan 230 lpm
Diameter Runner (Turbin)	450 mm
Sudut Inlet	0° dan 10°
Sudut Stagger	0° dan 20°
Head	0.5 m
Diameter Pulley	100 mm

4.2 Perhitungan

4.2.1 Debit

Pengukuran debit dapat diperoleh dengan mengatur bukaan valve, air yang mengalir akan dialirkan untuk mengisi tangki sampai ketinggian tertentu dan mencatat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian tersebut kemudian dengan persamaan berikut dapat diperoleh debit air yang dihasilkan.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dimana:

- Q : Debit (m^3/s)
- V : Volume (m^3)
- t : Waktu (s)

Contoh perhitungan debit 230 lpm menggunakan tangki berbentuk silinder dengan jari - jari 28.5 cm dan ketinggian air 21 cm dengan waktu yang dibutuhkan selama 14 detik adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{\pi \times 28.5 \text{ cm} \times 28.5 \text{ cm} \times 21 \text{ cm}}{14 \text{ s}}$$

$$Q = \frac{53666.62 \text{ cm}^3}{14 \text{ s}}$$

$$Q = 3833.33 \frac{m^3}{s} = 230 \text{ lpm}$$

4.2.2 Kecepatan Angular

Kecepatan angular dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Dimana:

ω : Kecepatan Angular (rad/s)

n : Putaran (rpm)

Contoh perhitungan pada putaran 60.3 rpm yang diukur menggunakan tachometer pada variasi percobaan sudut inlet 0° dan sudut stagger 0° dengan debit 230 lpm adalah sebagai berikut:

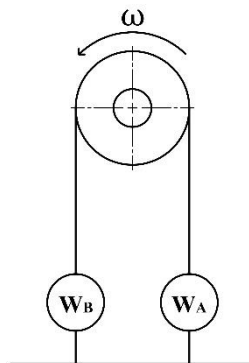
$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times 60.3}{60}$$

$$\omega = 6.416 \text{ rad/s}$$

4.2.3 Torsi

Perhitungan torsi dapat dilakukan dengan menghitung selisih beban pengereman yang terbaca pada neraca A dan neraca B, skema dan persamaan perhitungan torsi lebih jelasnya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Skema Perhitungan Torsi

$$\tau = (W_A - W_B)r$$

Dimana:

τ : Torsi (Nm)

W_A : Beban A (N)

W_B : Beban B (N)

r : Jari - Jari Pulley (m)

Contoh perhitungan pada variasi percobaan sudut inlet 10° dan sudut stagger 20° dengan debit 230 lpm didapat pembacaan beban pada neraca A sebesar 1.945 kg dan neraca B sebesar 0.755 kg dengan jari - jari pulley 5 cm adalah sebagai berikut:

$$\tau = (W_A - W_B)r$$

$$\tau = \left((1.945 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) - (0.755 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \right) 0.05 \text{ m}$$

$$\tau = 0.583 \text{ Nm}$$

4.2.4 Daya Air

Daya air dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_h = \rho \times g \times H \times Q$$

Dimana:

P_h : Daya Air (Watt)

ρ : Massa Jenis Air (1000 kg/m³)

g : Percepatan Gravitasi (9.81 m/s²)

H : Head (m)

Q : Debit (m³/s)

Contoh perhitungan daya air pada debit 230 lpm dengan besar head 0.5 m yang didapat dari ketinggian basin adalah sebagai berikut:

$$P_h = \rho \times g \times H \times Q$$

$$P_h = 996 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.5 \text{ m} \times 0.00383 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P_h = 18.727 \text{ Watt}$$

4.2.5 Daya Turbin

Daya turbin dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_t = \tau \times \omega$$

Dimana:

P_t : Daya Turbin (Watt)

τ : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan Angular (rad/s)

Contoh perhitungan pada variasi percobaan sudut inlet inlet 10° dan sudut stagger 0° dengan debit 200 lpm didapatkan torsi 0.161 Nm dan kecepatan angular 3.276 rad/s adalah sebagai berikut:

$$P_t = \tau \times \omega$$

$$P_t = 0.161 \text{ Nm} \times 3.276 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_t = 0.531 \text{ Watt}$$

4.2.6 Coefficient of Power

Coefficient of power dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_t}{P_h}$$

Dimana:

C_p : Coefficient of Power

P_t : Daya Turbin (Watt)

P_h : Daya Air (Watt)

Contoh perhitungan pada variasi percobaan sudut inlet 10° dan sudut stagger 0° dengan debit 200 lpm didapatkan daya turbin 0.447 Watt dan daya air 16.349 Watt adalah sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_t}{P_h}$$

$$C_p = \frac{0.447 \text{ Watt}}{16.349 \text{ Watt}}$$

$$C_p = 0.0273$$

4.2.7 Efisiensi

Efisiensi dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \times 100$$

Dimana:

η_t : Efisiensi (%)

P_t : Daya Turbin (Watt)

P_h : Daya Air (Watt)

Contoh perhitungan pada variasi percobaan sudut inlet 10° dan sudut stagger 0° dengan debit 200 lpm didapatkan daya turbin 0.447 Watt dan daya air 16.349 Watt adalah sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \times 100$$

$$\eta_t = \frac{0.447 \text{ Watt}}{16.349 \text{ Watt}} \times 100$$

$$\eta_t = 2.736 \%$$

4.2.8 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{\omega r}{V}$$

Dimana:

- λ : Tip Speed Ratio
- ω : Kecepatan Angular (rad/s)
- r : Jari - Jari Turbin (m)
- V : Kecepatan Aliran Air (m/s)

Contoh perhitungan pada variasi percobaan sudut inlet 10° dan sudut stagger 20° dengan debit 200 lpm didapatkan kecepatan angular sebesar 5.611 rad/s, kecepatan aliran dapat diperoleh dari debit dan luasan permukaan pada inlet adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega r}{V}$$

$$\lambda = \frac{5.611 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0.225 \text{ m}}{\left(\frac{0.00333 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.1 \text{ m} \times 0.07 \text{ m}} \right)}$$

$$\lambda = 2.650790651$$

4.2.9 Intensitas Aliran Vortex

Intensitas aliran vortex dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Gamma_v = 2 \times \pi \times r \times V$$

Dimana:

- Γ_v : Intensitas Aliran Vortex (m^2/s)
- r : Jari - Jari Basin (m)
- V : Kecepatan Aliran (m/s)

Contoh perhitungan pada variasi inlet 20° dengan debit 230 lpm pada pengukuran kecepatan aliran rata - rata 0.0745 m²/s adalah sebagai berikut:

$$\Gamma_v = 2 \times \pi \times r \times V$$

$$\Gamma_v = 2 \times 3.14 \times 0.5 \text{ m} \times 0.0745 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

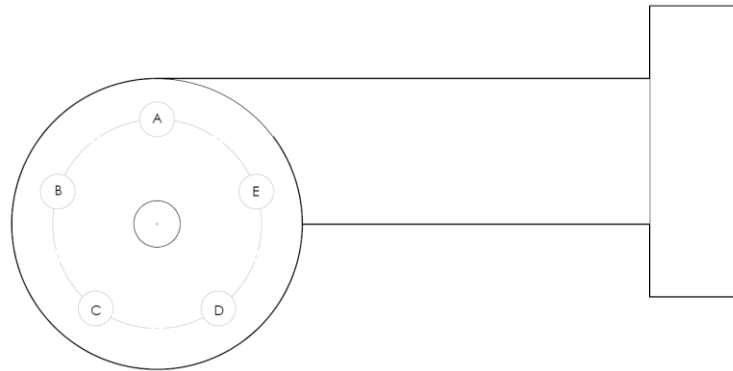
$$\Gamma_v = 0.105 \text{ m}^2/\text{s}$$

4.3 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah mengambil kesimpulan.

4.3.1 Intensitas Aliran Vortex

Pengukuran aliran vortex diukur pada lima titik berikut:



Gambar 4.2 Titik Pengukuran Aliran Vortex

Berdasarkan tabel dibawah intensitas aliran vortex terus mengalami kenaikan seiring bertambahnya debit yang diberikan dan semakin besarnya sudut inlet yang digunakan.

Tabel 4. 2 Intensitas Aliran Vortex pada Tiap Variasi

Debit (l/m)	Inlet	Titik Pengukuran	Kecepatan Aliran (m/s)	Kecepatan Aliran Rata - Rata (m/s)	Intensitas Aliran Vortex (m ² /s)
200	0	a	0.7591	0.035957406	0.051
		b	0.7482		
		c	0.7373		
		d	0.6774		
		e	0.6338		
	10	a	0.7864	0.045012855	0.064
		b	0.7646		
		c	0.7482		
		d	0.7155		
		e	0.6992		
230	0	a	0.8082	0.055504761	0.078
		b	0.7973		
		c	0.7864		
		d	0.7428		
		e	0.7373		
	10	a	0.8736	0.074577931	0.105
		b	0.8572		
		c	0.8463		
		d	0.7864		
		e	0.7482		

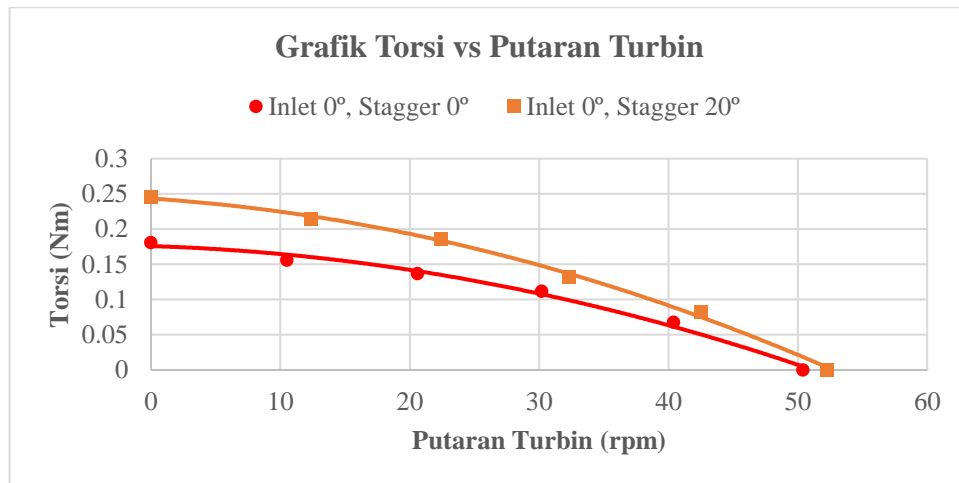
4.3.2 Torsi Terhadap Putaran Turbin

1. Debit 200 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.3 Data Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°, Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Beban (kg)	Torsi (Nm)
0°	50.4	0	0
	40.4	0.14	0.068
	30.2	0.23	0.112
	20.6	0.28	0.137
	10.5	0.32	0.156
	0	0.37	0.181
20°	52.3	0	0
	42.5	0.17	0.083
	32.3	0.27	0.132
	22.4	0.38	0.186
	12.4	0.44	0.215
	0	0.5	0.245



Gambar 4.3 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan pada debit 200 lpm dengan inlet 0°, stagger sudut 20° memiliki nilai torsi dan rpm yang lebih tinggi dibandingkan stagger sudut 0°.

Stagger sudut 0° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 50.4 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 0.37 kg (torsi = 0.181 Nm).

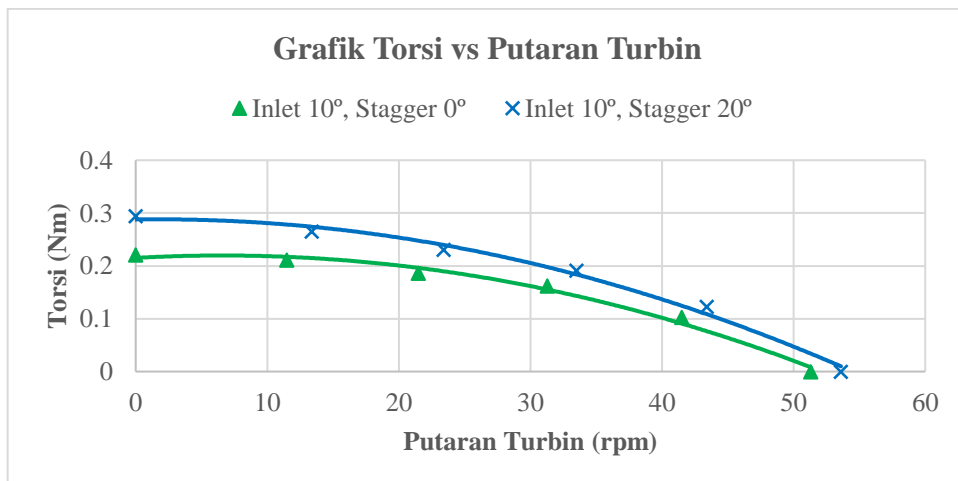
Stagger sudut 20° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 52.3 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 0.5 kg (torsi = 0.245 Nm).

Nilai torsi yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai beban, namun berbanding terbalik dengan nilai rpm, semakin besar nilai torsi maka akan semakin kecil nilai rpm yang dihasilkan.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.4 Data Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°, Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Beban (kg)	Torsi (Nm)
0°	51.3	0	0
	41.5	0.21	0.103
	31.3	0.33	0.161
	21.5	0.38	0.186
	11.5	0.43	0.210
	0	0.45	0.220
20°	53.6	0	0
	43.4	0.25	0.122
	33.5	0.39	0.191
	23.4	0.47	0.230
	13.4	0.54	0.264
	0	0.6	0.294



Gambar 4.4 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan pada debit 200 lpm dengan inlet 10°, stagger sudut 20° memiliki nilai torsi dan rpm yang lebih tinggi dibandingkan stagger sudut 0°.

Stagger sudut 0° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 51.3 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 0.45 kg (torsi = 0.220 Nm).

Stagger sudut 20° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 53.6 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 0.6 kg (torsi = 0.294 Nm).

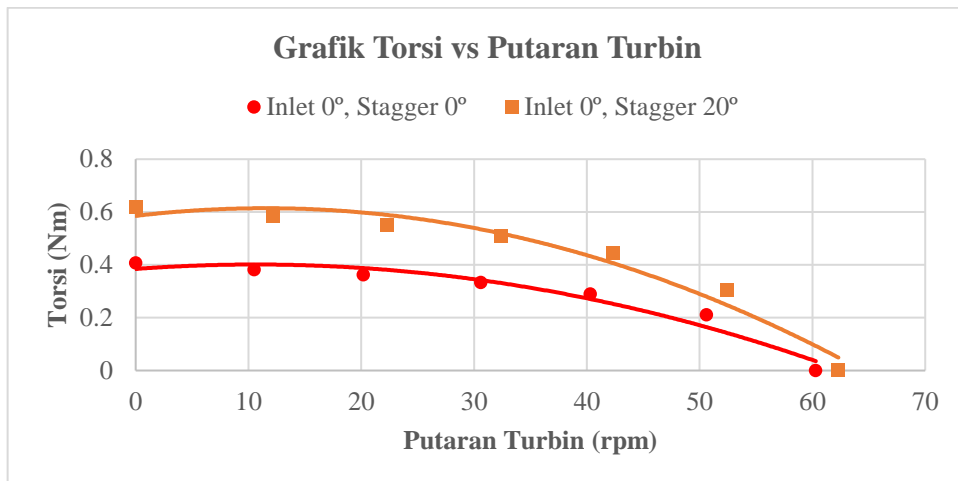
Nilai torsi yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai beban, namun berbanding terbalik dengan nilai rpm, semakin besar nilai torsi maka akan semakin kecil nilai rpm yang dihasilkan.

2. Debit 230 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.5 Data Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Beban (kg)	Torsi (Nm)
0°	60.3	0	0
	50.6	0.43	0.210
	40.3	0.59	0.289
	30.6	0.68	0.333
	20.2	0.74	0.362
	10.5	0.78	0.382
	0	0.83	0.407
20°	62.3	0	0
	52.4	0.62	0.304
	42.3	0.91	0.446
	32.4	1.04	0.510
	22.3	1.12	0.549
	12.2	1.19	0.583
	0	1.26	0.618



Gambar 4.5 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan pada debit 200 lpm dengan inlet 10°, stagger sudut 20° memiliki nilai torsi dan rpm yang lebih tinggi dibandingkan stagger sudut 0°.

Stagger sudut 0° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 60.3 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 0.83 kg (torsi = 0.407 Nm).

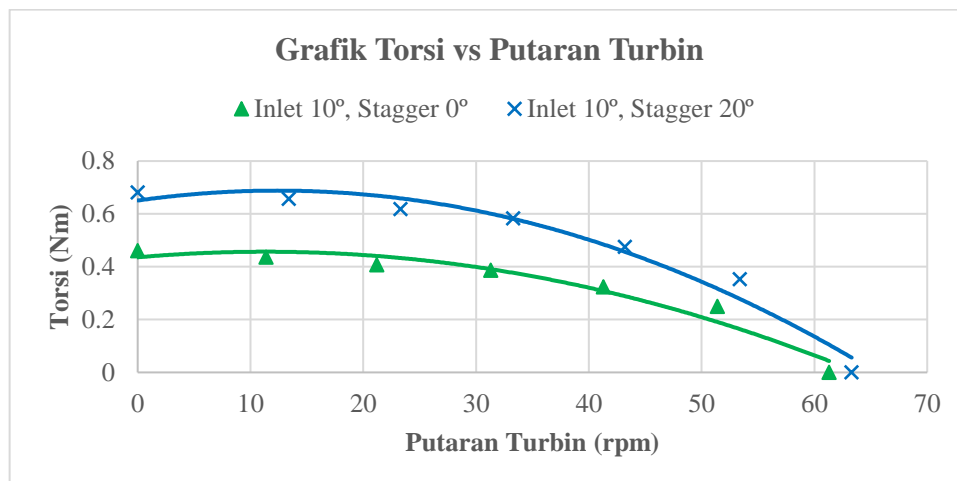
Stagger sudut 20° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 62.3 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 1.26 kg (torsi = 0.618 Nm).

Nilai torsi yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai beban, namun berbanding terbalik dengan nilai rpm, semakin besar nilai torsi maka akan semakin kecil nilai rpm yang dihasilkan.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.6 Data Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Beban (kg)	Torsi (Nm)
0°	61.3	0	0
	51.4	0.51	0.250
	41.3	0.66	0.323
	31.3	0.79	0.387
	21.2	0.83	0.407
	11.4	0.89	0.436
	0	0.94	0.461
20°	63.3	0	0
	53.4	0.72	0.353
	43.2	0.97	0.475
	33.3	1.19	0.583
	23.3	1.26	0.618
	13.4	1.34	0.657
	0	1.39	0.681



Gambar 4.6 Grafik Torsi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan pada debit 200 lpm dengan inlet 10°, stagger sudut 20° memiliki nilai torsi dan rpm yang lebih tinggi dibandingkan stagger sudut 0°.

Stagger sudut 0° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 61.3 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 0.94 kg (torsi = 0.461 Nm).

Stagger sudut 20° mampu menghasilkan nilai rpm tanpa pembebanan sebesar 63.3 rpm, sedangkan pada rpm = 0 menghasilkan beban sebesar 1.39 kg (torsi = 0.681 Nm).

Nilai torsi yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai beban, namun berbanding terbalik dengan nilai rpm, semakin besar nilai torsi maka akan semakin kecil nilai rpm yang dihasilkan.

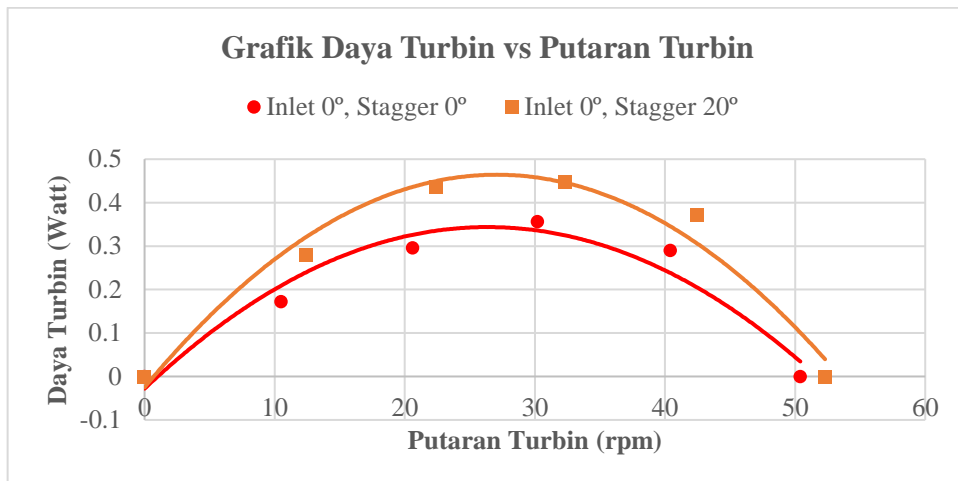
4.3.3 Daya Turbin Terhadap Putaran Turbin

1. Debit 200 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.7 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)
0°	50.4	5.275	0	0
	40.4	4.228	0.068	0.290
	30.2	3.160	0.112	0.356
	20.6	2.156	0.137	0.296
	10.5	1.099	0.156	0.172
	0	0	0.181	0
20°	52.3	5.474	0	0
	42.5	4.448	0.083	0.370
	32.3	3.380	0.132	0.447
	22.4	2.344	0.186	0.436
	12.4	1.297	0.215	0.280
	0	0	0.245	0



Gambar 4.7 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 200 lpm dengan inlet 0°, sudut stagger 20° memiliki nilai daya turbin yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

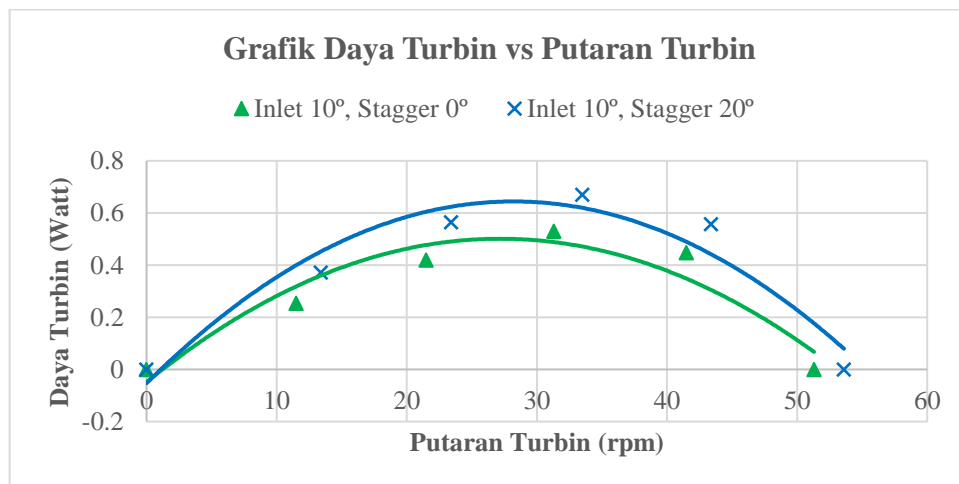
Nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 0.356 Watt dengan nilai ω 3.160 rad/s dan torsi 0.112 Nm sedangkan pada sudut stagger 20° nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 0.447 Watt dengan nilai ω 3.380 rad/s dan torsi 0.132 Nm.

Semakin besar nilai ω dan torsi yang dihasilkan semakin besar pula nilai daya yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya turbin.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.8 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)
0°	51.3	5.369	0	0
	41.5	4.343	0.103	0.447
	31.3	3.276	0.161	0.530
	21.5	2.250	0.186	0.419
	11.5	1.203	0.210	0.253
	0	0	0.220	0
20°	53.6	5.610	0	0
	43.4	4.542	0.122	0.557
	33.5	3.506	0.191	0.670
	23.4	2.449	0.230	0.564
	13.4	1.402	0.264	0.371
	0	0	0.294	0



Gambar 4.8 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 200 lpm dengan inlet 10°, sudut stagger 20° memiliki nilai daya turbin yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

Nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 0.530 Watt dengan nilai ω 3.276 rad/s dan torsi 0.161 Nm sedangkan pada sudut stagger 20° nilai daya turbin terbaik yang

mampu dihasilkan sebesar 0.670 Watt dengan nilai ω 3.506 rad/s dan torsi 0.191 Nm.

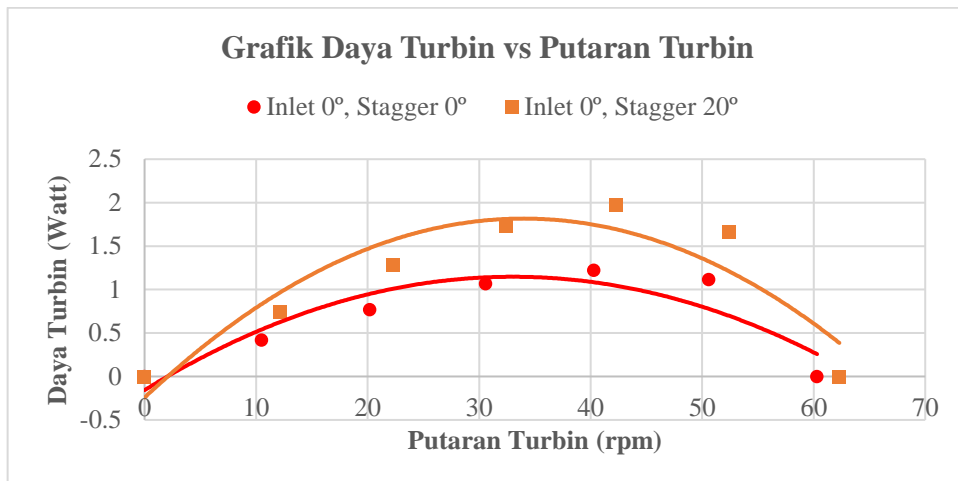
Semakin besar nilai ω dan torsi yang dihasilkan semakin besar pula nilai daya yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya turbin.

2. Debit 230 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.9 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)
0°	60.3	6.311	0	0
	50.6	5.296	0.210	1.117
	40.3	4.218	0.289	1.220
	30.6	3.202	0.333	1.068
	20.2	2.114	0.362	0.767
	10.5	1.099	0.382	0.420
	0	0	0.407	0
20°	62.3	6.520	0	0
	52.4	5.484	0.304	1.667
	42.3	4.427	0.446	1.976
	32.4	3.391	0.510	1.729
	22.3	2.334	0.549	1.282
	12.2	1.276	0.583	0.745
	0	0	0.618	0



Gambar 4.9 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 230 lpm dengan inlet 0°, sudut stagger 20° memiliki nilai daya turbin yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

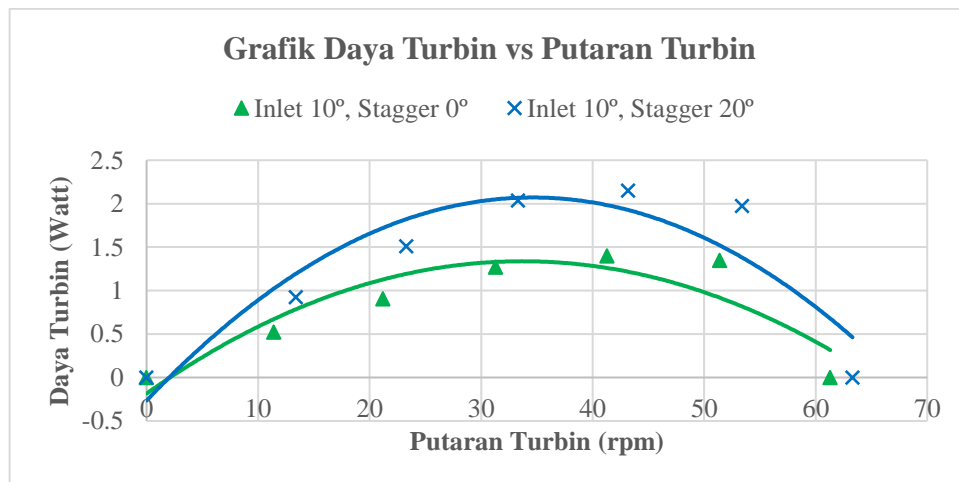
Nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 1.220 Watt dengan nilai ω 4.218 rad/s dan torsi 0.289 Nm sedangkan pada sudut stagger 20° nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 1.976 Watt dengan nilai ω 4.427 rad/s dan torsi 0.446 Nm.

Semakin besar nilai ω dan torsi yang dihasilkan semakin besar pula nilai daya yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya turbin.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.10 Data Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)
0°	61.3	6.416	0	0
	51.4	5.379	0.250	1.345
	41.3	4.322	0.323	1.399
	31.3	3.276	0.387	1.269
	21.2	2.218	0.407	0.903
	11.4	1.193	0.436	0.520
	0	0	0.461	0
20°	63.3	6.625	0	0
	53.4	5.589	0.353	1.973
	43.2	4.521	0.475	2.151
	33.3	3.485	0.583	2.034
	23.3	2.438	0.618	1.507
	13.4	1.402	0.657	0.921
	0	0	0.681	0



Gambar 4.10 Grafik Daya Turbin vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 230 lpm dengan inlet 10°, sudut stagger 20° memiliki nilai daya turbin yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

Nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 1.399 Watt dengan nilai ω 4.322 rad/s dan torsi 0.323 Nm sedangkan pada sudut stagger 20° nilai daya turbin terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 2.151 Watt dengan nilai ω 4.521 rad/s dan torsi 0.475 Nm.

Semakin besar nilai ω dan torsi yang dihasilkan semakin besar pula nilai daya yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya turbin.

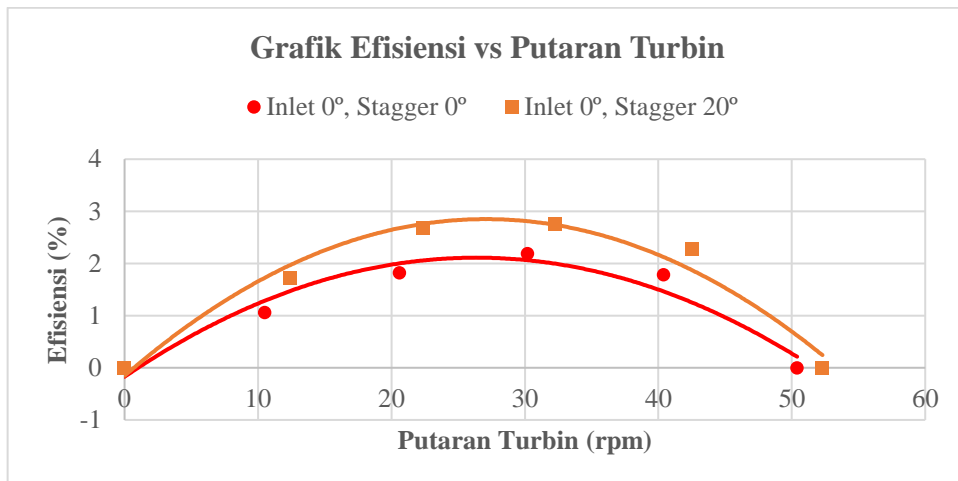
4.3.4 Efisiensi Terhadap Putaran Turbin

1. Debit 200 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.11 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0° ; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Air (Watt)	Efisiensi (%)
0°	50.4	0	16.284	0
	40.4	0.290	16.284	1.783
	30.2	0.356	16.284	2.189
	20.6	0.296	16.284	1.818
	10.5	0.172	16.284	1.059
	0	0	16.284	0
20°	52.3	0	16.284	0
	42.5	0.370	16.284	2.277
	32.3	0.447	16.284	2.749
	22.4	0.436	16.284	2.683
	12.4	0.280	16.284	1.720
	0	0	16.284	0



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 200 lpm dengan inlet 0°, sudut stagger 20° memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

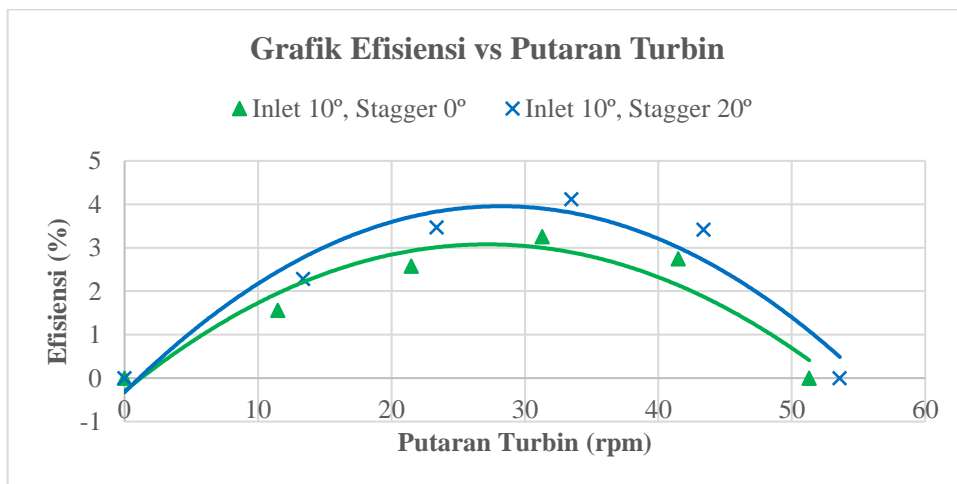
Nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 2.189% sedangkan pada sudut stagger 20° nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 2.749%.

Dikarenakan daya air yang dihasilkan selalu sama, maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan semakin besar pula nilai efisiensi.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.12 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Air (Watt)	Efisiensi (%)
0°	51.3	0	16.284	0
	41.5	0.447	16.284	2.747
	31.3	0.530	16.284	3.256
	21.5	0.419	16.284	2.575
	11.5	0.253	16.284	1.558
	0	0	16.284	0
20°	53.6	0	16.284	0
	43.4	0.557	16.284	3.420
	33.5	0.670	16.284	4.118
	23.4	0.564	16.284	3.467
	13.4	0.371	16.284	2.281
	0	0	16.284	0



Gambar 4.12 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 200 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 200 lpm dengan inlet 10°, sudut stagger 20° memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

Nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 3.256% sedangkan pada sudut stagger 20° nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 4.118%.

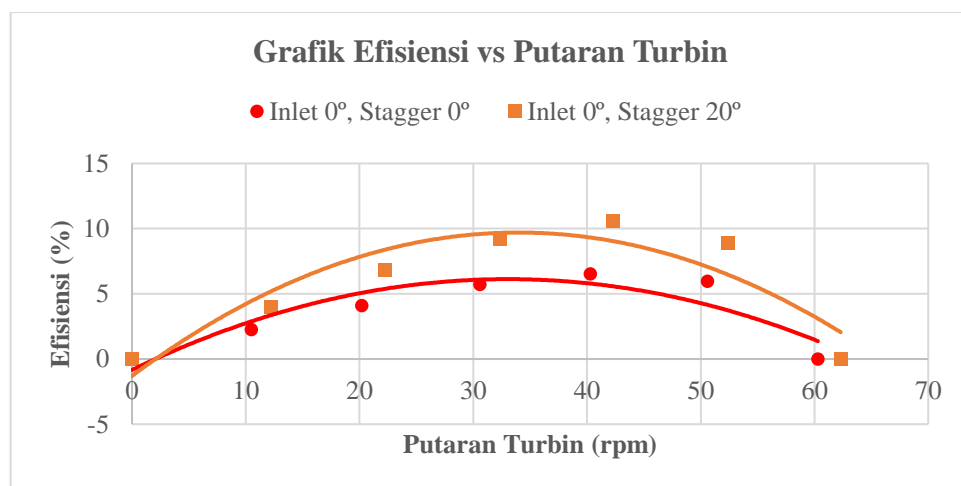
Dikarenakan daya air yang dihasilkan selalu sama, maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan semakin besar pula nilai efisiensi.

2. Debit 230 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.13 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Air (Watt)	Efisiensi (%)
0°	60.3	0	18.727	0
	50.6	1.117	18.727	5.964
	40.3	1.220	18.727	6.518
	30.6	1.068	18.727	5.704
	20.2	0.767	18.727	4.097
	10.5	0.420	18.727	2.245
	0	0	18.727	0
20°	62.3	0	18.727	0
	52.4	1.667	18.727	8.906
	42.3	1.976	18.727	10.552
	32.4	1.729	18.727	9.237
	22.3	1.282	18.727	6.846
	12.2	0.745	18.727	3.979
	0	0	18.727	0



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 230 lpm dengan inlet 0°, sudut stagger 20° memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

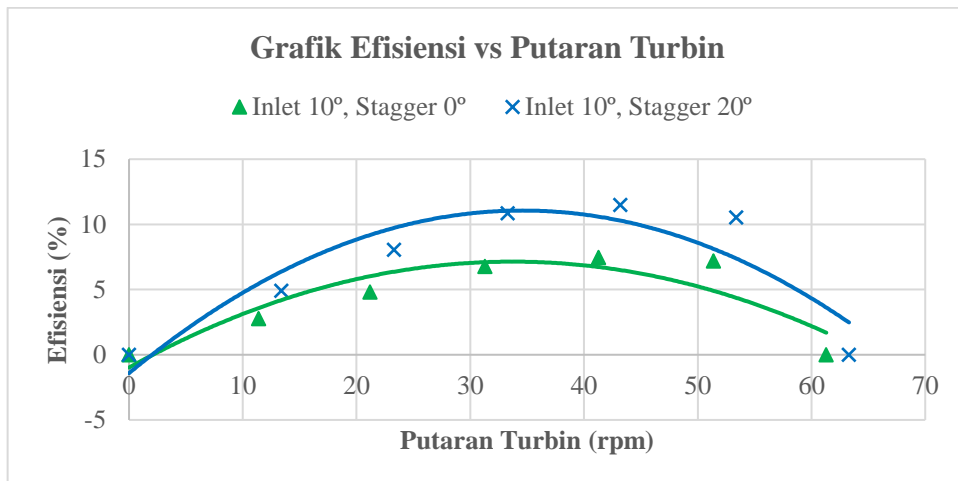
Nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 6.518% sedangkan pada sudut stagger 20° nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 10.552%.

Dikarenakan daya air yang dihasilkan selalu sama, maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan semakin besar pula nilai efisiensi.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.14 Data Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Putaran Turbin (rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Air (Watt)	Efisiensi (%)
0°	61.3	0	18.727	0
	51.4	1.345	18.727	7.186
	41.3	1.399	18.727	7.472
	31.3	1.269	18.727	6.778
	21.2	0.903	18.727	4.823
	11.4	0.520	18.727	2.781
	0	0	18.727	0
20°	63.3	0	18.727	0
	53.4	1.973	18.727	10.540
	43.2	2.151	18.727	11.487
	33.3	2.034	18.727	10.863
	23.3	1.507	18.727	8.048
	13.4	0.921	18.727	4.922
	0	0	18.727	0



Gambar 4. 14 Grafik Efisiensi vs RPM dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 230 lpm dengan inlet 10°, sudut stagger 20° memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

Nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 7.472% sedangkan pada sudut stagger 20° nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 11.487%.

Dikarenakan daya air yang dihasilkan selalu sama, maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan semakin besar pula nilai efisiensi.

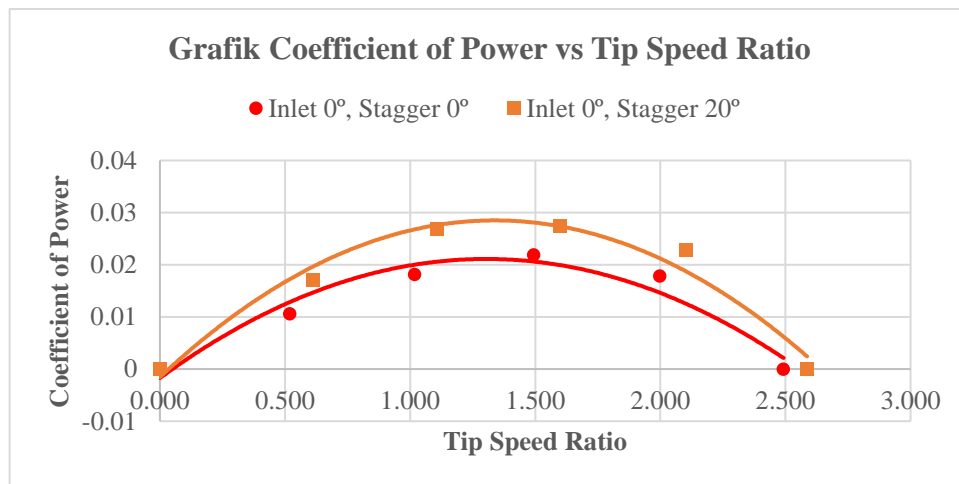
4.3.5 Coefficient of Power Terhadap Tip Speed Ratio

1. Debit 200 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.15 Data Cp vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Coefficient of Power	ω (rad/s)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Tip Speed Ratio
0°	0	5.275	0.392	2.493
	0.018	4.229	0.392	1.998
	0.022	3.161	0.392	1.494
	0.018	2.156	0.392	1.019
	0.011	1.099	0.392	0.519
	0	0	0.392	0
20°	0	5.474	0.392	2.586
	0.023	4.448	0.392	2.102
	0.027	3.381	0.392	1.597
	0.027	2.345	0.392	1.108
	0.017	1.298	0.392	0.613
	0	0	0.392	0



Gambar 4.15 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 200 lpm dengan inlet 0°, sudut stagger 20° memiliki nilai Cp yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

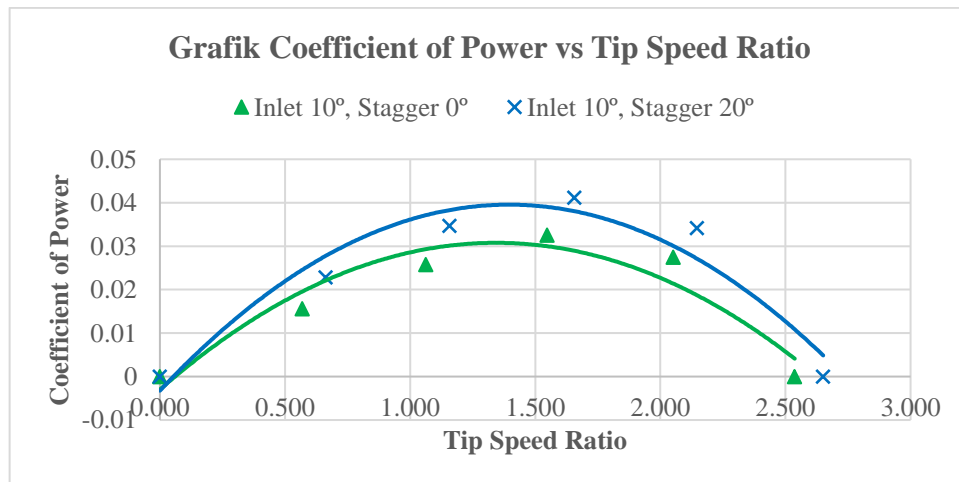
Nilai Cp terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 0.022 pada tip speed ratio 1.494 sedangkan pada sudut stagger 20°

nilai C_p terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 0.027 pada tip speed ratio 1.597.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.16 Data C_p vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 10° ; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Coefficient of Power	ω (rad/s)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Tip Speed Ratio
0°	0	5.369	0.392	2.537
	0.027	4.344	0.392	2.052
	0.033	3.276	0.392	1.548
	0.026	2.250	0.392	1.063
	0.016	1.204	0.392	0.569
	0	0	0.392	0
20°	0	5.610	0.392	2.651
	0.034	4.543	0.392	2.146
	0.041	3.506	0.392	1.657
	0.035	2.449	0.392	1.157
	0.023	1.403	0.392	0.663
	0	0	0.392	0



Gambar 4.16 Grafik C_p vs TSR dengan Debit 200 lpm; Inlet 10° ; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 200 lpm dengan inlet 10° , sudut stagger 20° memiliki nilai C_p yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0° .

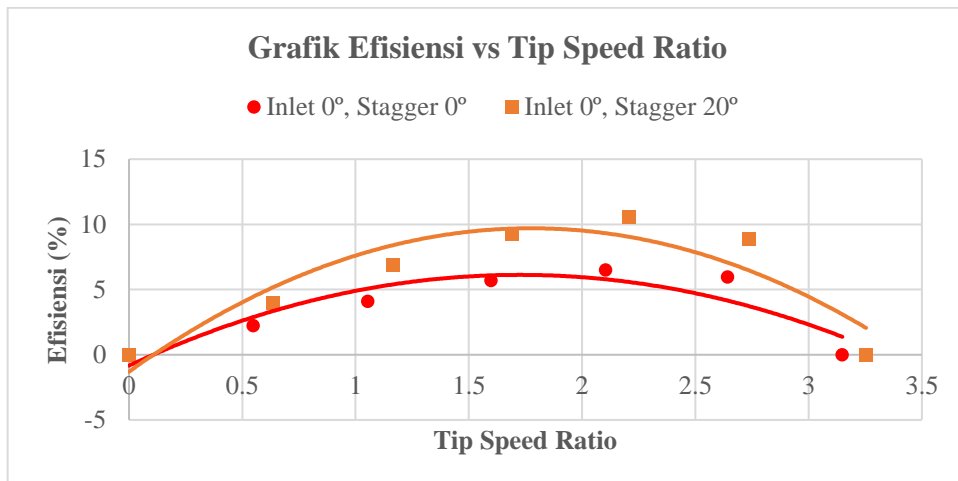
Nilai C_p terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 0.033 pada tip speed ratio 1.548 sedangkan pada sudut stagger 20° nilai C_p terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 0.041 pada tip speed ratio 1.657.

2. Debit 230 lpm

a. Variasi Sudut Inlet 0° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.17 Data C_p vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 0° ; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Coefficient of Power	ω (rad/s)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Tip Speed Ratio
0°	0	6.311	0.451	3.149
	0.060	5.296	0.451	2.642
	0.065	4.218	0.451	2.104
	0.057	3.203	0.451	1.598
	0.041	2.114	0.451	1.055
	0.022	1.099	0.451	0.548
	0	0	0.451	0
20°	0	6.521	0.451	3.253
	0.089	5.485	0.451	2.736
	0.106	4.427	0.451	2.209
	0.092	3.391	0.451	1.692
	0.068	2.334	0.451	1.164
	0.040	1.277	0.451	0.637
	0	0	0.451	0



Gambar 4.17 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 0°; Variasi Stagger 0° dan 20°

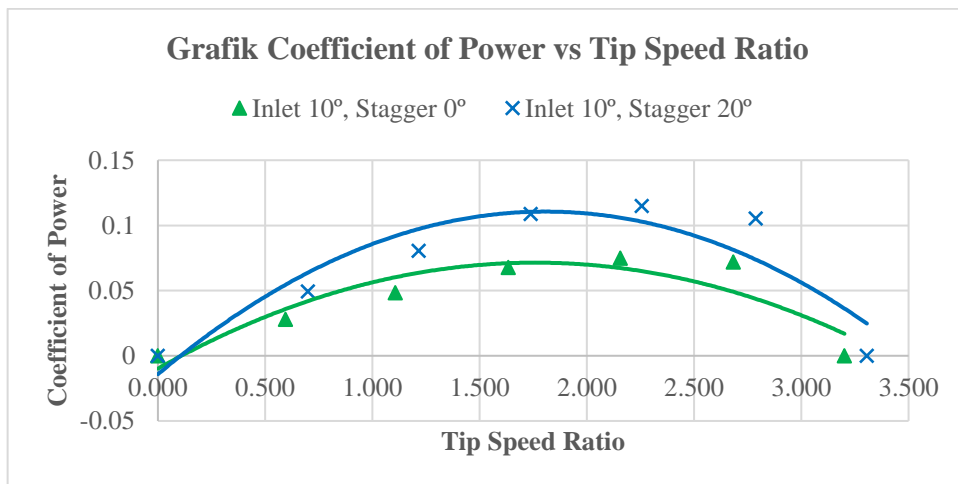
Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 230 lpm dengan inlet 0°, sudut stagger 20° memiliki nilai Cp yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

Nilai Cp terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 0.065 pada tip speed ratio 2.104 sedangkan pada sudut stagger 20° nilai Cp terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 0.106 pada tip speed ratio 2.209.

b. Variasi Sudut Inlet 10° dengan Sudut Stagger 0° dan 20°

Tabel 4.18 Data Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Sudut Stagger	Coefficient of Power	ω (rad/s)	Kecepatan Aliran Air (m/s)	Tip Speed Ratio
0°	0	6.416	0.451	3.201
	0.072	5.380	0.451	2.684
	0.075	4.323	0.451	2.157
	0.068	3.276	0.451	1.634
	0.048	2.219	0.451	1.107
	0.028	1.193	0.451	0.595
	0	0	0.451	0
20°	0	6.625	0.451	3.306
	0.105	5.589	0.451	2.789
	0.115	4.522	0.451	2.256
	0.109	3.485	0.451	1.739
	0.080	2.439	0.451	1.217
	0.049	1.403	0.451	0.700
	0	0	0.451	0



Gambar 4.18 Grafik Cp vs TSR dengan Debit 230 lpm; Inlet 10°; Variasi Stagger 0° dan 20°

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwasannya pada debit 230 lpm dengan inlet 10°, sudut stagger 20° memiliki nilai Cp yang lebih tinggi dibandingkan dengan stagger dengan sudut 0°.

Nilai C_p terbaik yang mampu dihasilkan oleh stagger dengan sudut 0° adalah 0.075 pada tip speed ratio 2.157 sedangkan pada sudut stagger 20° nilai efisiensi terbaik yang mampu dihasilkan sebesar 0.115 pada tip speed ratio 2.256.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, perhitungan, dan analisis yang telah dilakukan pada uji eksperimen turbin vortex variasi debit, sudut inlet, dan sudut stagger terhadap performa *water turbine vortex* dan intensitas aliran vortex yang dihasilkan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Intensitas aliran vortex terbaik didapat pada variasi debit 230 lpm dengan sudut inlet 10° dengan nilai sebesar $\Gamma_v = 0.105 \text{ m}^2/\text{s}$.
2. Daya turbin dan efisiensi tertinggi didapat pada variasi debit 230 lpm, sudut inlet 10° , dan sudut stagger 20° , dengan nilai daya sebesar 2.15 Watt dan efisiensi sebesar 11.48%.

5.2 Saran

Dalam penelitian yang telah dilakukan masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu di berikan saran-saran sebagai berikut:

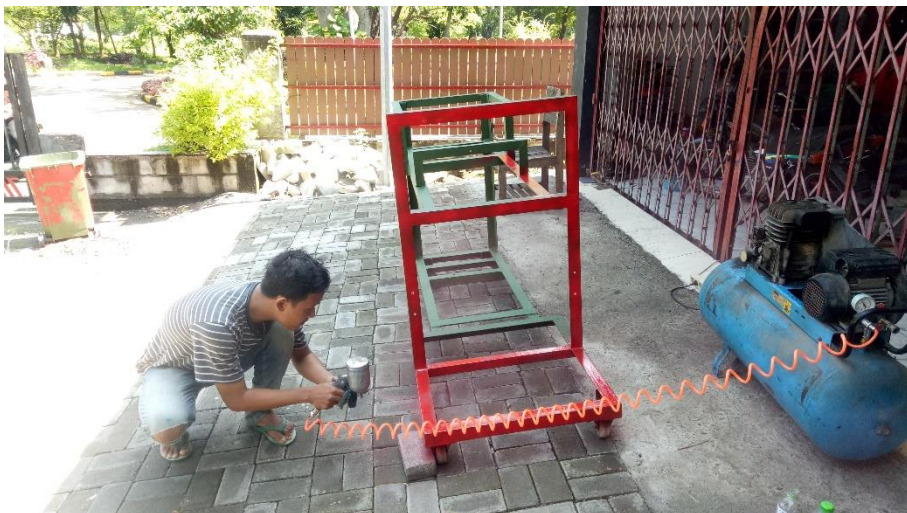
1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terkait variasi yang bisa digunakan seperti halnya dimensi basin, debit, dan sudut stagger yang digunakan.

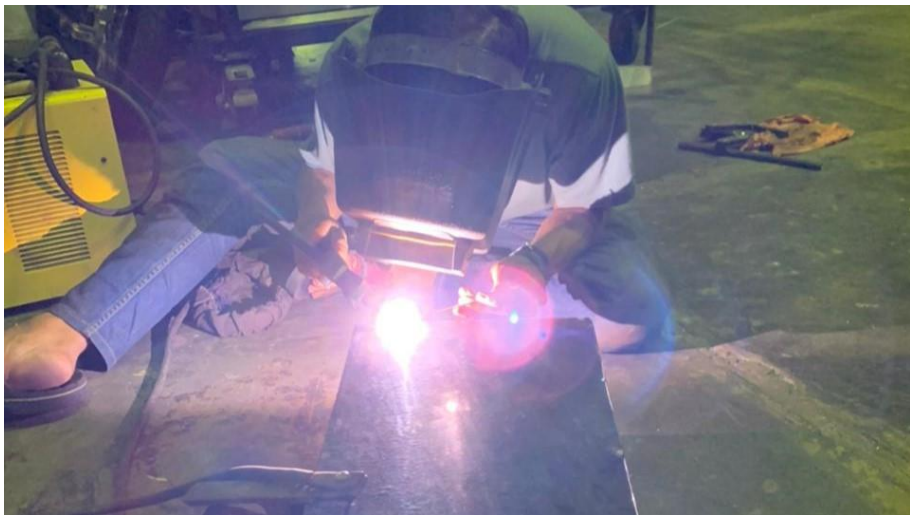
DAFTAR PUSTAKA

- Dhakal, R., Bajracharya, T. R., Shakya, S. R., Kumal, B., Williamson, S., Khanal, K., . . . Ghale, D. P. (2018). Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant. *IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA 2017)*, 365-373.
- Hamzah, I., Hadib, S., & Tjahjanac, D. D. (2016). STUDI PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA SAVONIUS WATER TURBINE PADA ALIRAN AIR DALAM PIPA. *Jurnal ROTOR, Edisi Khusus No. 2*, 23-37.
- Harsoyo, B., Yananto, A., Athoillah, I., & Nugroho, A. (2015). REKOMENDASI PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR WADUK/ DANAU PLTA DI INDONESIA MELALUI PEMANFAATAN TEKNOLOGI MODIFIKASI CUACA. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol.16 No.2*, 47-54.
- Hoes, O. A., Meijer, L. J., Sarfianto, O. R., & Van der Endt, R. J. (2014). POTENTIAL CONTRIBUTION OF HYDRO POWER PLANTS TO THE ENERGY. *9th International Symposium on Lowland Technology*, 622-627.
- Purnama, A. C., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 2*, 278-282.
- Sánchez, A. R. (2019). Numerical and Experimental Evaluation of Concave and Convex Designs for Gravitational Water Vortex Turbine. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 64, Issue 1*, 160-172.
- Suharyati, Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., & Pratiwi, N. I. (2019). *Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019*. Jakarta selatan: Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Suwoto, G., & Supriyo. (2018). Pembuatan Turbin Vortex dengan Sudu Pipa Belah Tiga. *Jurnal Teknik Energi Vol 14 No. 3*, 72-77.
- Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2020, Vol. 1, No. 3*, 124-132.
- Timilsina, A. B., Mulligan, S., & Tri Ratna Bajracharya, T. R. (2018). Water Vortex Hydropower Technology: A State-of-The-Art Review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1737–1760.

LAMPIRAN

Dokumentasi Proses Penegerjaan











Tabel Appendix A.10 dalam buku Introduction to Fluid Mechanics (Fox, Robert W. and McDonald, Alan T)

Table A.8

Properties of Water (SI Units)

Temperature, T (°C)	Density, ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N · s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Surface Tension, σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v (kPa)	Bulk Modulus, E_v (GPa)
0	1000	1.76E-03	1.76E-06	0.0757	0.661	2.01
5	1000	1.51E-03	1.51E-06	0.0749	0.872	
10	1000	1.30E-03	1.30E-06	0.0742	1.23	
15	999	1.14E-03	1.14E-06	0.0735	1.71	
20	998	1.01E-03	1.01E-06	0.0727	2.34	2.21
25	997	8.93E-04	8.96E-07	0.0720	3.17	
30	996	8.00E-04	8.03E-07	0.0712	4.25	
35	994	7.21E-04	7.25E-07	0.0704	5.63	
40	992	6.53E-04	6.59E-07	0.0696	7.38	
45	990	5.95E-04	6.02E-07	0.0688	9.59	
50	988	5.46E-04	5.52E-07	0.0679	12.4	2.29
55	986	5.02E-04	5.09E-07	0.0671	15.8	
60	983	4.64E-04	4.72E-07	0.0662	19.9	
65	980	4.31E-04	4.40E-07	0.0654	25.0	
70	978	4.01E-04	4.10E-07	0.0645	31.2	
75	975	3.75E-04	3.85E-07	0.0636	38.6	
80	972	3.52E-04	3.62E-07	0.0627	47.4	
85	969	3.31E-04	3.41E-07	0.0618	57.8	
90	965	3.12E-04	3.23E-07	0.0608	70.1	2.12
95	962	2.95E-04	3.06E-07	0.0599	84.6	
100	958	2.79E-04	2.92E-07	0.0589	101	

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Palangkaraya, 1 Maret 2000, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Siti Khodijah, SDN Demangan 4 Bangkalan, SMPN 3 Peterongan, dan SMA Darul Ulum 2 Unggulan BPPT Jombang. Setelah lulus dari SMA Darul Ulum 2 Unggulan BPPT Jombang pada tahun 2018, penulis mengikuti Seleksi Masuk Institut Teknologi Sepuluh Nopember Program Vokasi dan diterima di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 10211810010012.

Di Departemen Teknik Mesin Industri penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri (HMDM) seperti Student Engineering Challenge 2.0 dan Service Gratis 2019.

Penulis juga menjadi anggota aktif Nogogeni ITS Team sebagai staff ahli divisi Body and Frame dan menjadi driver mobil Urban Elektrik pada event Kontes Mobil Hemat Energi 2021 yang berhasil mendapatkan podium Juara 1 Efisiensi dan podium Juara 1 Eco Fun Race pada kategori Urban kelas Motor Listrik.