PROYEK AKHIR – VM 191879

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN AIR DENGAN SUDU BENTUK ¼ LINGKARAN PADA ARAH ALIRAN UNDERSHOOT TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN

MOHAMAD FAIQ ASLIKHIL ISLAM
NRP 10211710010006

Dosen Pembimbing I :
Dedy Zulhidayat Noor., S.T., M.T. Ph.D
19751206 200501 1 002

Dosen Pembimbing II :
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
19620216 199512 1 001

PROGRAM
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

PROYEK AKHIR – VM 191879

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN AIR DENGAN SUDU BENTUK ¼ LINGKARAN PADA ARAH ALIRAN UNDERSHOOT TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN

MOHAMAD FAIQ ASLIKHIL ISLAM
NRP 10211710010049

Dosen Pembimbing I :
Dedy Zulhidayat Noor., S.T., M.T. Ph.D
19751206 200501 1 002

Dosen Pembimbing II :
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
19620216 199512 1 001

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

FINAL PROJECT - VM 191879

MANUFACTURING AND TESTING OF WATER TURBINE WITH QUARTER CIRCLE BLADE IN THE UNDERSHOOT FLOW DIRECTION FOR TURBINE POWER AND EFFICIENCY

MOHAMAD FAIQ ASLIKHIL ISLAM
NRP 10211710010006

Counselor Lecturer I :
Dedy Zulhidayat Noor., S.T., M.T. Ph.D
19751206 200501 1 002

Conselor Lecturer II :
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
19620216 199512 1 001

PROGRAM OF STUDY ENERGY CONVERSION ENGINEERING TECHNOLOGY
Department of Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocational
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2021

FINAL PROJECT – VM 191879

MANUFACTURING AND TESTING OF WATER TURBINE WITH QUARTER CIRCLE BLADE IN THE UNDERSHOOT FLOW DIRECTION FOR TURBINE POWER AND EFFICIENCY

MOHAMAD FAIQ ASLIKHIL ISLAM
NRP 10211710010006

Counselor Lecturer I :
Dedy Zulhidayat Noor., S.T., M.T. Ph.D
19751206 200501 1 002

Conselor Lecturer II :
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
19620216 199512 1 001

PROGRAM OF STUDY ENERGY CONVERSION ENGINEERING TECHNOLOGY
Department of Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocational
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2021

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN AIR DENGAN SUDU BENTUK ¼ LINGKARAN PADA ARAH ALIRAN *UNDERSHOOT* TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN

Proyek Akhir

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Terapan
Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Mohamad Faiq Aslikhil Islam
NRP. 10211710010006

Disetujui oleh Pembimbing Proyek Akhir:

1. **Dedy Zulhidayat N., S.T., M.T. Ph.D**
   (NIP. 19751206 200501 1 002)
2. **Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT**
   (NIP. 19620216 199512 1 001)

Penguji Proyek Akhir:

1. **Ir. Eddy Widiyono, M.Sc**
   (NIP. 19601025 198701 1 001) *(Lampiran 1)*
2. **Ir. Arino Anzip, MEng, Sc**
   (NIP. 19610714 198803 1 003) *(Lampiran 2)*

Surabaya, 06 Agustus 2021

PERNYATAAN KEASLIAN PROYEK AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Proyek Akhir saya dengan judul "PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN AIR DENGAN BENTUK SUDU LENGKUNG ¼ LINGKARAN PADA ARAH ALIRAN AIR *UNDERSHOOT* TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI" adalah benar-benar hasil karya intelektual sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya orang lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Surabaya, 4 Juli 2021

Mohamad Faiq Aslikhil Islam

NRP. 10211710010006

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN AIR DENGAN SUDU BENTUK ¼ LINGKARAN PADA ARAH ALIRAN UNDERSHOOT TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN

Nama Mahasiswa : Mohamad Faiq Aslikhil Islam

NRP : 10211710010006

Departemen : Teknik Mesin Industri FV – ITS

Dosen Pembimbing : 1. Dedy Zulhidayat Noor., S.T., M.T. Ph.D

2. Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.

Abstrak

Energi terbarukan berbasis mycrohydro saat ini menjadi sebuah solusi dari permasalahan menipisnya energi fosil sebagai bahan baku pembangkitan energy listrik. Salah satunya ialah Pembangkit listrik tenaga air yang berbentuk PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) atau PLTMH (Pembangkit Listrik Mikrohidro) saat ini telah banyak dikembangkan di pedesaan pada aliran sungai kecil atau irigasi sawah yang mengalir. Hasil dari proses pembangkitan energy listrik dapat dimanfaatkan untuk penerangan jalan atau kebutuhan listrik rumah. Pada Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang terdapat sebuah aliran irigasi sawah yang keberadaannya hanya dimanfaatkan sebagai saluran irigasi air sawah saja padahal keberadannya sangat berpotensial untuk dilakukan proses pembangkitan

energi listrik dikarenakan adanya aliran air yang mengalir secara terus menerus karena berada di dataran tinggi dan berasal dari sumber mata air yang berada di beda ketinggian.

Dalam Penelitian ini pengujian dan pengambilan data performa turbin air dilakukan di saluran irigasi sawah di Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. Jenis Turbin air yang dirancang dan di bahas ialah jenis Turbin Air dengan arah aliran air undershoot. Dengan ditambah papan penyearah agar aliran mampu tepat jatuh mengenai runner turbin. Dengan menggunakan Turbin dengan diameter luar runner sebesar 50 cm dan lebar runner sebesar 50 cm.

Dalam penelitian ini digunakan variasi jumlah sudu dan variasi kapasitas aliran Dari hasil penelitain diperoleh bahwa Jumlah Sudu 12 pada kapasitas 0,0384 m^3/s memiliki Daya Optimum dengan daya sebesar 7,0981 Watt pada Gaya 29,421 N dan pada putaran 60,5 rpm. Sedangkan efisiensi tertanggi terjadi pada kapsitas aliran 0,024 m^3/s dengan efisiensi sebesar 33,0%. Setelah diketahui daya maksimum maka langkah selanjutnya ialah penentuan generator yang cocok untuk jenis turbin yang dibuat.

Kata Kunci : Energi terbarukan, PLTMH, undershoot, Turbin Air, Daya, Efisiensi, Generator

MANUFACTURING AND TESTING OF WATER TURBINE WITH QUARTER CIRCLE BLADE IN THE UNDERSHOOT FLOW DIRECTION FOR TURBINE POWER AND EFFICIENCY

Student Name	**: Mohamad Faiq Aslikhil Islam**
NRP	**: 10211710010006**
Departement	**: Industrial Mechanical Engineering FV–ITS**
Conselor Lecturer	**: 1. Dedy Zulhidayat Noor., S.T., M.T. Ph.D**
	2. Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.

Abstract

Renewable energy based on microhydro is currently a solution to the problem of depleting fossil energy as a raw material for generating electrical energy. One of them is a hydroelectric power plant in the form of a hydropower plant (hydroelectric power plant) or a micro hydro power plant (PLTMH) which has now been widely developed in rural areas on small streams or flowing rice fields irrigation. The results of the process of generating electrical energy can be used for street lighting or home electricity needs. In Candirenggo Village, Singosari District, Malang Regency, there is a rice field irrigation channel whose existence is only used as a rice field irrigation channel, even though its existence is

very potential for the process of generating electrical energy due to the continuous flow of water because it is in the highlands and comes from a source. springs at different altitudes.

In this study, testing and data collection of water turbine performance was carried out in rice field irrigation canals in Candirenggo Village, Singosari District, Malang Regency. The type of water turbine that is designed and discussed is the type of Water Turbine with undershoot water flow direction. With the addition of a rectifier board so that the flow can fall right on the turbine runner. By using a turbine with a runner outer diameter of 50 cm and a runner width of 50 cm.

In this study used variations in the number of blade and variations in flow capacity. From the results of obtained that the number of blade 12 at a capacity of 0.0384 m^3/s rotation of 60.5 rpm. While the efficiency occurred at the flow capacity of 0.024 m^3/s with an efficiency of 33.0%. Once the maximum power is known, the next step is to determine which generator is suitable for the type of turbine being made.

Keywords: Renewable energy, MHP, undershoot, Water Turbine, Power, Efficiency, Generator

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, tak lupa sholawat dan salam saya ucapkan kepada Rasullullah Nabi Muhammad SAW, serta para sahabatnya. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT sehingga, penulis buku ini dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan tugas akhir dengan judul: "PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PENGARUH JUMLAH SUDU DENGAN BENTUK SUDU ¼ LINGKARAN PADA TURBIN AIR DENGAN ARAH ALIRAN AIR UNDERSHOOT TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI" Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Dosen Pembimbing yang dengan sabar dan telaten memberi bimbingan serta ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dan selaku Dosen Pembimbing atas ilmu dan arahan yang telah diberikan.
3. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc selaku dosen penguji atas ilmu dan arahan yang telah diberikan
4. Bapak Ir. Arino Anzip, M.Sc. Eng selaku dosen penguji atas ilmu dan arahan yang telah diberikan
5. Bapak Ir. Denny Maartyoza Eko Sudjono, M.T. selaku dosen wali selama kuliah di DTMI.
6. Bapak-/Ibu dosen dan Karyawan DTMI yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.
7. Bapak Askur, Ibu Umiyati, Kurniawan Fadli, Amelia Islamiati, Aisyah Naufalyn selaku keluarga penulis yang senantiasa dengan tulus mendoakan dan memeberikan doa restu dan kasih sayang dan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Vina Dewi Qurrota'aini, A.Md. Keb. yang dengan penuh memberikan dukungan dan motivasi agar terselesaikannya tugas akhir ini
9. Keluarga besar Bapak H. Nur Fauzi yang selalu mendukung untuk terselesaikan tugas akhir ini
10. Bapak H. Slamet yang turut serta memberikan ilmunya atas pembuatan alat turbin air

11. Bapak Supandri dan Bapak Santoso selaku Kelompok tani Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari kabupaten Malang atas bantuan selama pengujian.
12. Tim pembuatan alat turbin air Muhamad Ilham Akbar yang telah bersama dalam suka maupun duka
13. Teman-teman DTMI khususnya angkatan 2017 terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
14. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Saya sebagai manusia biasa, menyadari bahwasannya penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran untuk penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 08 Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i

PERNYATAAN KEASLIAN PROYEK AKHIR ii

Abstrak iii

Abstract v

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI x

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR TABEL xvii

BAB I

PENDAHULUAN 1

1.1 Latar belakang 1

1.2 Rumusan masalah 4

1.3 Batasan Masalah 5

1.4 Tujuan 6

1.5 Manfaat Penelitian 6

1.6 Jadwal Kegiatan 7

BAB II

DASAR TEORI 9

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air 9
2.1.1 Pengertian dan Klasifikasi PLTA..... 9
2.1.2 Kriteria PLTMH.....11
2.1.3. Energi dari Tenaga Air (Hydropower) 12
2.1.4. Prinsip Kerja PLTMH 13
2.1.5 Komponen pada Pembangkit Listrik Tenaga Air 13
2.2 Turbin Air..... 17
2.2.1 Prinsip Kerja Turbin Air.....17
2.2.2 Komponen-Komponen Turbin Air 18
2.2.3 Klasifikasi Turbin Air.....20
2.3 Perhitungan yang digunakan 29
2.4 Metode Pengukuran Momen dan Daya 33
2.4.1 Dynamometer.....34
2.4.2 Dynamometer Mekanis.....35
2.5 Tinjauan Pustaka 38
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN.....41
3.1 Jenis Penelitian 41
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 41
3.2.1 Waktu penelitian 42

3.2.2 Tempat penellitian.....42
3.3 Variabel peneletian..... 42
3.4 Urutan Pengerjaan..... 44
3.4.1 Diagram Alur Penelitian.....44
3.4.2 Perencanaan dan pengerjaan.....44
3.5 Proses perancangan dan pembuatan..... 47
3.5.1 Data perencanaan 47
3.5.2 Head 47
3.5.3 Diameter runner 47
3.5.4 Lebar runner.....48
3.5.5 Bentuk sudu 48
3.5 Desain Turbin..... 50
3.5.1 Sudu Runner 50
3.5.2 Dinding Runner.....51
3.5.3 Poros Runner.....52
3.5.4 Frame Turbin 53
3.5.5 Saluran Pengarah 55
3.5.6 Desain Turbin Secara Keseluruahan 56
3.6 Proses pengerjaan..... 56
3.7 Pengujian dan pengambilan data..... 57
3.7 1 Analisa Hasil.....57

3.7.2 Kesimpulan 58

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN 59

4.1Data Hasil Penelitian 59

4.2 Perhitungan 59

4.2.1 Kapasitas air.....60

4.2.2 Daya air 60

4.2.3 Torsi 61

4.2.4 Kecepatan Angular 62

4.2.5 Daya Turbin (Pt) 63

4.2.6 Efisiensi Turbin (ηt).....64

4.2 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Unjuk kerja .. 65

4.2.1 Unjuk Kerja Gaya Terhadap Fungsi Putaran 65

4.2.2 Unjuk Kerja Torsi Terhadap Putaran.....69

4.2.3 Unjuk Kerja DayaTurbin Fungsi Putaran 73

4.2.4 Unjuk Kerja Efisiensi Turbin Fungsi Putaran.....77

BAB V 82

KESIMPULAN DAN SARAN 82

5.1. Kesimpulan..... 82

5.2 Saran 82

DAFTAR PUSTAKA 84

Lampiran 85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen PLTMH 14

Gambar 2. 2 Turbin aliran tangensial.....21

Gambar 2. 3 Turbin aliran aksial - radial 22

Gambar 2. 4 Turbin Pelton.....24

Gambar 2. 5 Turbin Crossflow 25

Gambar 2. 6 Turbin Kaplan.....26

Gambar 2. 7 Turbin Francis 27

Gambar 2. 8 Turbin Vorteks.....28

Gambar 2. 9 Skema Pengujian Dengan Metode Prony Brake.....36

Gambar 2. 10 Skema Pengujian Dengan Metode Rope Brake 38

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 44

Gambar 3. 4 Sudu Turbin air dengan jumlah sudu 12 51

Gambar 3. 5 Sudu Turbin air dengan jumlah sudu 6 51

Gambar 3. 6 Dinding runner Turbin Air 52

Gambar 3. 7 Poros Runner Turbin.....53

Gambar 3. 8 Frame Turbin Air.....54

Gambar 3. 9 Frame penyangga.....54

Gambar 3. 10 Saluran Pengarah 55

Gambar 3. 11 Dimensi Saluran Pengarah 55

Gambar 4. 1 Grafik Gaya terhadap fungsi RPM……... 67

Gambar 4. 2 Grafik Torsi terhadap fungsi putaran.....71

Gambar 4. 3 Grafik Daya Turbin terhadap fungsi Putaran 75

Gambar 4. 4 Grafik Efisiensi Turbin terhadap fungsi putaran ...79

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jadwal Kegiatan 7

Tabel 4. 1 Data Kondisi Aliran irigasi 59

Tabel 4. 2 Data Gaya terhadap RPM kapasitas aliran 0,024 m3/s 65

Tabel 4.3 Data Gaya terhadap Putaran (Kapasitas aliran = 0,0384m3/s): 66

Tabel 4. 4 Data Perhitungan Torsi terhadap putaran (Kapasitas aliran = 0,024 m3/s): 69

Tabel 4. 5 Data Perhitungan Torsi terhadap Putaran (Kapasitas aliran 0,0384 m3/s).....70

Tabel 4. 6 Perhitungan Daya Turbin Air Fungsi Putaran pada kapsitas Aliran 0,024 m3/s.....73

Tabel 4. 7 Data Perhitungan Daya Turbin Air Fungsi Putaran pada kapsitas Aliran 0,0384 m3 74

Tabel 4. 8 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Air Fungsi Putaran pada kapsitas Aliran 0,024 $m3/s$. 77

Tabel 4. 9 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Air Fungsi putaran pada kapsitas Aliran 0,0384 m3/s 78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia dewasa ini semakin meningkat seiring dengan bertambahnya pertumbuhan jumlah penduduk. Berdasarkan hasil proyeksi jumlah penduduk Indonesia oleh Badan Pusat Statistika menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia akan terus meningkat yaitu dari 255,46 juta pada tahun 2015 menjadi 305,65 juta pada tahun 2035 **(BPS, 2013)**. Bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia diiringi dengan bertambahnya kebutuhan energi listrik yang akan terus meningkat. Faktor yang menyebabkan peningkatan kebutuhan energi listrik ialah Pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi listrik.

Pembangkit listrik di Indonesia saat ini masih cenderung bergantung dengan penggunaan energi fosil sebagai bahan bakarnya, namun yang menjadi permasalahan ialah energi fosil termasuk energi yang tidak dapat diperbarui. dan proses alam untuk dapat menyediakannya kembali memerlukan waktu yang sangat lama. Selain itu cadangan energi fosil

yakni minyak bumi Indonesia terus menurun dari 5,9 miliar barel pada tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada tahun 2015 **(BPPT,2017).** Pemakaian energi fosil juga menghasilkan gas sisa pembakaran berupa CO dan CO2 yang berdampak kepada pemanasan global. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk pencarian sumber energi alternatif atau biasa disebut energi baru terbarukan (EBT) yang mampu untuk menjawab tantangan krisis energy listrik di masa mendatang.

Selama ini pemanfaatan energi terbarukan dengan memanfaatkan energy air dalam proses pembangkitan listrik di Indonesia sudah ada. Namun kurangnya pemanfaatan yang berbasis tenga air dengan mengandalkan kecepatan aliran air sungai kurang banyak dilakukan. Disisi lain Indonesia merupakan negara yang mempunyai banyak aliran sungai irigasi yang keberadaannya sangat berpotensial dimanfaatkan untuk dijadikan sumber tenaga listrik berbasis *microhydro*. Salah satu sungai yang keberadaannya sangat berpotensial untuk dijadikan proses pembangkitan e nergi listrik ialah saluran sungai yang berada di wilayah Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. Dengan di dukung intensitas curah hujan yang tinggi serta

keberadaan air selalu ada di setiap musim serta didukung dengan letak geografis Kelurahan Candirejo yang berada di ketinggian, serta mempunyai sumber energy air yang berada di wilayah beda ketinggian. Maka pemanfaatan energy air dalam hal ini pemanfaatan saluran irigasi sawah di Kelurahan Candirejo sangat berpotensial untuk dilakukan pemanfaatakan energy listrik berbasis *microhydro* atau sering disebut PLTMH yakni Pembangkit Listrik Tenaga *Microhydro*.

Selama ini air hanya untuk dibiarkan mengalir untuk keperluan irigasi sawah saja padahal keberadaannya sangat berpotensial untuk dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga *Microhydro*. Dengan debit yang cukup besar dan ketinggian (head) yang medium maka saluran irigasi air untuk persawahan di Kelurahan Candirenggo memiliki energi yang cukup besar jika dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin air yang kemudian digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. 7engan type aliran *undershoot* yang nantinya akan diaplikasikan sebagai pembangkit listrik tenaga *microhydro* untuk menghasilkan listrik sebagai penerangan jalan umum atau kebutuhan lainnya. Setelah alat dibuat yakni dilakukan pengujian, pengujian dilakukan

dengan memvariasikan jumlah sudu 6 dan 12 dengan memberikan pembebanan pada turbin sampai turbin berhenti berputar untuk diketahui jumlah unjuk kerja dari turbin air yang dibuat meliputi daya turbin dan efisiensi turbin.

1.2 Rumusan masalah

Pada penelitian kali ini berdasarkan sebuah permasalahan yang ada, terkait kurangnya pemanfaatan aliran irigasi sawah di Kelurahan Candirejo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang yang mampu dimanfaatkan untuk menjadi sumber tenaga listrik *microhydro*. Serta tuntutuan untuk mencari sumber energi terbarukan untuk dijadikan sebuah energi listrik yang mampu menjadikan solusi. terkait ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil. Maka penulis akan membuat turbin air yang dipasang di lokasi tersebut maka dari itu penulis akan menguraikan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah sudu dengan penampang bentuk sudu “Lengkung” ¼ Lingkaran pada turbin air reaksi poros horizontal terhadap daya turbin air.

2. Bagaimana variasi Kapasitas air pada turbin air reaksi poros horizontal terhadap efisiensi turbin.

1.3 Batasan Masalah

1. Tidak dilakukan perhitungan terkait kekuatan material
2. Pengujian dan pengambilan data performa turbin air dilakukan di saluran irigasi sawah di Kelurahan Candirenggo Kecamatan singosari Kabupaten Malang.
3. Bentuk sudu yang dibuat dalam penelitian ialah bentuk “lengkung”.
4. Jenis Turbin air yang dirancang dan di uji ialah jenis Turbin Air dengan arah aliran air *undershoot*.
5. Dalam perencanaan turbin air digunakan data kecepatan aliran air sebesar 2.21 m/s
6. Pada penelitian ini analisa performa kinerja turbin *crossflow* daya dan efisiensi turbin yang dihasilkan tanpa menggunakan generator atau secara manual yaitu dengan metode pengereman (*rope brake*).

7. Penelitian ini tidak membahas gaya gesek pada prony break maupun tebal tali pada *rope break*.
8. Kecepatan aliran air sungai *steady*.

1.4 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu dengan penampang bentuk sudu “Lengkung” ¼ lingkaran pada turbin air rekasi poros horizontal pada arah aliran air *undershoot* terhadap unjuk kerja turbin yakni daya turbin.
2. Untuk mengetahui pengaruh Variasi kapasitas air pada turbin air reaksi poros horizontal pada arah aliran air *undershoot* terhadap unjuk kerja turbin yakni efisiensi turbin

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dihasilkan turbin air yang dapat menghasilkan energy listrik untuk penerangan area sawah di Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang
2. Menambah literature bagi mahasiswa mengenai turbin *crossflow* yang digunakan untuk

Pembangkitan Energi Listrik Berbasis *mycrohydro* yang ramah lingkungan.

1.6 Jadwal Kegiatan

Proses pelaksanaan penelitian dilakukan mulai pada bulan Januari 2020 sampai dengan Bulan Juli 2021 penelitian dilakukan selama 6 bulan sesuai rincian sebagai berikut :

Tabel 1. 1 Jadwal Kegiatan

Kegiatan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul
Studi Lapangan							
Studi Literature							
Penulisan Proposal Proyek Akhir							
Sidang Proposal Proyek Akhir							
Desain Pembuatan							

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

2.1.1 Pengertian dan Klasifikasi PLTA

Penggunaan energi air sebagai sumber energi sudah dilakukan sejak lama, salah satunya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air yang dikonversikan menjadi daya angular oleh turbin air. Sederhananya air yang bergerak menggerakan turbin, turbin memutar generator dan energi listrik dihasilkan. Banyak komponen lain terdapat dalam sistem tetapi semuanya dimulai dengan energi pada air tersebut.

Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air diklasifikasikan menurut besarnya kapasitas daya yang dihasilkan. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air mengikuti sebagai berikut (Penche & Minas, 1998) :

Tabel 2. 1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas
Pico Hidro	<500W
Mikro Hidro	1-100 KW
Mini Hidro	100-1000 KW
Small Hidro	1-15 KW
Medium Hidro	15-100 MW
Large Hidro	>100 MW

Berdasarkan tabel 2.1 klasifikasi pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat fungsi dan keunggulan kapasitas dari beberapa hidro. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan pembangkit air yang memiliki kapasitas 1 KW sampai 100 KW, pembangkit ini merupakan tipe pembangkit tenaga air yang sesuai diterapkan di lokasi-lokasi yang memiliki tinggi jatuh rendah dan aliran air yang tidak terlalu banyak.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya

menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) mempunyai kelebihan dalam hal biaya operasi yang rendah jika dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga yang lain, karena mikro hidro memanfaatkan energi sumber daya alam yang dapat diperbarui, yaitu sumber daya air (Endardjo, et, all 1998). Dengan ukurannya yang kecil penerapan mikro hidro relative mudah dan tidak merusak lingkungan. Rentang penggunaannya cukup luas, terutama untuk menggerakkan peralatan atau mesin-mesin yang tidak memerlukan persyaratan stabilitas tegangan yang akurat (Endardjo, et, all 1998).

2.1.2 Kriteria PLTMH

Dalam mencapai tujuan pembangunan PLTMH harus dapat memenuhi beberapa kriteria yang dipandang sangat penting untuk di perhatikan. Dengan begitu kriteria yang harus diperhatikan yaitu :

1. Relatif harus dapat dibangun dibanyak tempat, oleh sebab itu harus memenuhi persyaratan teknis agar dapat dibangun dengan jangkauan jatuh yang rendah sehingga dapat dibangun dengan jangkauan lokasi lebih luas.

2. Biaya pembangunan serendah mungkin dan cepat pelaksanaan pembuatannya, oleh sebab itu harus dapat dibuat dalam negeri sendiri oleh tenaga-tenaga ahli dalam negeri., sehiingga tidak memerlukan waktu impor yang cukup lama.
3. Proses pembuatannya harus dapat dibuat dimana-mana dan mudah dioperasikan, oleh karena itu konstruksinya harus mudah dan sederhana dengan penggunaan teknologi tepat guna sehingga bengkel-bengkel dalam negeri mampu membuatnya.
4. Peralatan harus cukup andal karena pengoperasiaannya berada di daerah yang terisolir seperti daerah pegunungan dan berbukit untuk mendapatkan kecepatan aliran air.

2.1.3. Energi dari Tenaga Air (Hydropower)

Energi air merupakan kombinasi antara tinggi jatuh dan debit air. Besarnya energy air yang tersedia dari suatu sumber air tergantung pada besarnya tinggi jatuh dan debit air. Keduanya diperlukan untuk bisa menghasilkan listrik. Tinggi jatuh merupakan tekanan air yang dihasilkan oleh perbedaan ketinggian antara muka air pada reservoir dan muka air keluar dari turbin. Sedangkan debit merupakan jumlah aliran

(Volume per satuan waktu) yang melewati turbin. Tinggi jatuh dan debit merupakan dua hal yang sangat penting yang perlu diketahui dalam membangun suatu lokasi untuk pembangkitan listrik tenaga air.

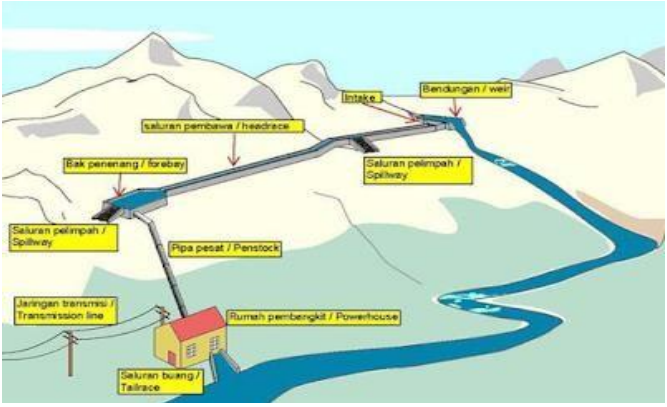
2.1.4. Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit listrik dari air bergantung pada ketersediaan tinggi jatuh dan debit. Keduanya harus tersedia untuk menghasilkan listrik. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air yang bertekanan (dihasilkan oleh tinggi jatuh) menciptakan gaya yang memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnnya akan memutar generator yang menghasilkan listrik. Semakin tinggi jatuh atau semakin banyak debit air akan menghasilkan listrik yang lebih banyak.

2.1.5 Komponen pada Pembangkit Listrik Tenaga Air

Secara teknis, pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Pembagkit listrik tenaga mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, pembangkit listrik tenaga mikrohidro memanfaatkan energi potensial

jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energy listrik. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2,5 m dapat dihasilkan listrik 400 W. Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran atau sungai. Air yang mengalir melalui intake dan diteruskan oleh saluran pembawa hingga *penstock*, akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanikBagian dan komponen PLTMH. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil serta komponen elektrikal dan mekanikal, sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Komponen PLTMH

- Bendungan (*Weir*)

Bendungan (*weir*) atau waduk adalah bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air. Kontruksi bendungan bertujuan untuk menaikkan dan mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga elevasi muka air cukup untuk dialihkan ke dalam *intake* pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

- Saluran Penyadap (*Intake*)

Saluran penyadap adalah bagian dari konstruksi sipil yang digunakan untuk masuknya air dari sungai menuju saluran pembawa dengan dilengkapi penghalang sampah.

- Saluran pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air dari *intake* sampai ke kolam penenang. Saluran ini juga berfungsi untuk mempertahankan kestabilan debit air. Saluran air untuk sebuah pembangkit skala kecil cenderung memiliki bangunan terbuka.

- Saluran Pelimpah (*Spillway*)

Saluran pelimpah berfungsi untuk mengurangi kelebihan air pada saluran pembawa

- Kolam Penenang (*Forebay*)

Kolam penenang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin. Selain itu, kolam penenang ini juga berfungsi untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat.

- Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penenang (*forebay*) menuju turbin air.

- Rumah Pembangkit (*Power House*)

Rumah pembangkit ini terdapat turbin, generator dan peralatan lainnya. Bangunan ini menyerupai rumah dan diberi atap untuk melindungi peralatan dari hujan dan gangguan-gangguan lainnya.

- Saluran Pembuang (*Tailrace*)

Saluran pembuang berfungsi untuk mengalirkan air keluar setelah memutar turbin.

- Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin berputar. Perputaran turbin ini dihubungkan ke generator. Turbin terdiri

dari berbagai jenis seperti turbin *Francis*, *Kaplan*, *Pelton*, dan lain-lain.

- Generator

Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox, memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet di dalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC. Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan.

2.2 Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi air menjadi energi putar. Energi putar ini yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air pertama kali dicetuskan oleh Burdin pada tahun 1873, kata tersebut berasal dari bahasa latin *turbinis* yang berarti putaran atau puntiran dengan sumber tenaga berasal dari air.

2.2.1 Prinsip Kerja Turbin Air

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi

mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh *nozzle*. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

2.2.2 Komponen-Komponen Turbin Air

Komponen-komponen utama pada turbin air adalah sebagai berikut :

a. Stator

Stator adalah bagian yang diam/tidak bergerak pada system turbin air. Stator turbin terdiri dri dua bagian, yaitu *casing* dan pipa pengarah (*nozzle*)

1) Casing

Casing atau *shell* adalah suatu wadah berbentuk menyerupai sebuah tabung dimana rotor ditempatkan. Di luar *casing* dipasang bantalan yang berfungsi untuk menyangga rotor.

2) Pipa pengarah/*nozzle*

Pipa pengarah/*nozzle* yang berfungi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan

kecepatan fluida yang digunakan didalam sistem besar.

b. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar terdiri dari poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor.

1) Poros

Poros dapat berupa silinder panjang yang *solid* (pejal) atau berongga (*hollow*). Pada umumnya sekarang poros terdiri dari silinder panjang yang *solid*.

2) Sudu gerak

Sudu gerak adalah sudu-sudu yang dipasang di sekeliling rotor membentuk suatu piringan.

3) Bantalan

Bantalan berfungsi sebagai penyangga rotor sehingga membuat rotor dapat stabil/lurus pada posisinya di dalam *casing* dan rotor dapat berputar dengan aman dan bebas. Adanya bantalan yang menyangga turbin selain bermanfaat untuk menjaga rotor turbin tetap pada posisinya juga menimbulkan kerugian.

2.2.3 Klasifikasi Turbin Air

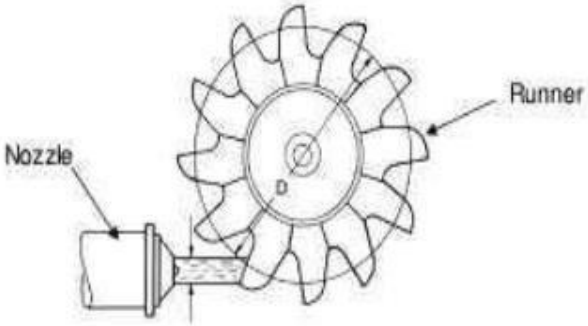
Kemajuan teknologi pada bidang mekanika fluida serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak di daerah dataran tinggi dan pedesaan menyebabkan timbulnya perencanaan- perencanaan turbin terhadap tinggi jatuhan (*head*) dan debit air yang tersedia. Pada uraian dibawah ini akan dijelaskan klasifikasi berdasarkan beberapa kriteria.

1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk Runner

Berdasarkan model aliran masuk *runner*, turbin dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

a. Turbin Aliran Tangensial

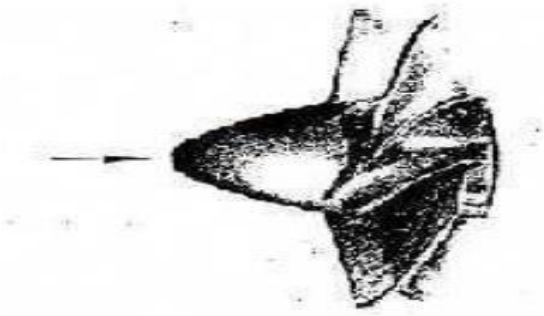
Pada tipe ini, posisi air masuk roda gerak dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* sehingga *runner* berputar, contoh turbin dengan aliran tangensial adalah turbin *pelton* dan turbin *crossflow*.



Gambar 2. 2 Turbin aliran tangensial

a. Turbin Aliran Aksial

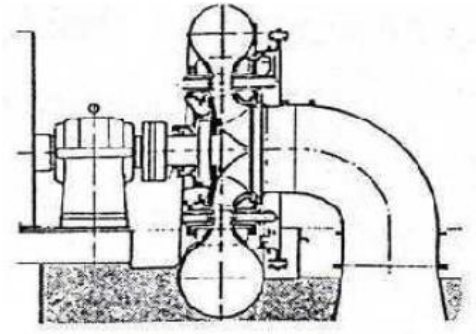
Pada turbin ini, air yang masuk roda gerak dan keluar roda gerak sejajar dengan poros gerak. Contoh turbin aliran aksial adalah turbin *Kaplan* atau turbin *propeller*.



Gambar 2.3 Turbin aliran aksial

b. Turbin Aliran Aksial-Radial

Pada turbin ini air yang masuk kedalam *runner* bergerak secara radial dan keluar dari *runner* secara aksial sejajar dengan poros *runner*. Contoh turbin aliran aksial-radial adalah turbin *Francis*.



Gambar 2. 3 Turbin aliran aksial - radial

2. Berdasarkan prinsip kerja dalam mengubah energi potensial air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin *impuls* dan turbin reaksi. Sebelum berkembang menjadi turbin *Pelton* dan turbin *Crossflow* (jenis impuls), dan turbin *Francis* dan turbin

Kaplan (jenis reaksi) seperti yang banyak ditemukan saat sekarang, beberapa jenis turbin dengan konstruksi yang relatif sederhana telah mengalawalinya. Di samping itu juga telah dilakukan upaya penyempurnaan dengan memodifikasi rancangan dari turbin- turbin yang sudah ada seperti turbin *Pelton*, turbin *Crossflow*, turbin *Francis*, dan turbin *Kaplan* (Dietzel,1990).

a. Turbin *Impuls*

Pada turbin *impuls* energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozzel*. Air yang keluar dari *nozzel* mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu turbin arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impuls*). Berikut merupakan contoh dari turbin *impuls*:

1. Turbin *Pelton*

Turbin *Pelton* terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang dismeprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozel Turbin *pelton* adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin *Pelton* adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi,

turbin *pelton* dapat dilihat pada gambar 2.5

Gambar 2. 4 Turbin Pelton

2. Turbin *Crossflow*

Pada turbin pelton beroperasi pada *head* relatif tinggi, sehingga *head* rendah kurang efektif. Sebagai alternatif turbin *crossflow* yang dapat beroperasi pada *head* rendah. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/detik hingga 10 m^3/detik dan *head* antara 1 s/d 200 m. aliran air dilewatkan melalui sudu-sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder keluar melalui sudu sudu. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder keluar melalui sudu-sudu. Energi yang diperoleh dari tahap kedua adalah 20% nya dari tahap pertama.

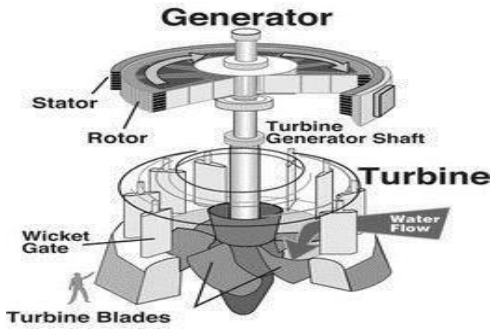
Gambar 2. 5 Turbin Crossflow

b. Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, energi yang tersedia pada saluran masuk hanya sebagian saja yang dirubah menjadi energi kinetik sedangkan sisanya tetap dalam bentuk energi tekan. Ketika air mengalir melalui roda gerak/*runner* terjadi perubahan energi tekan menjadi energi kinetik secara berangsur-angsur. Tekanan pada sisi masuk roda gerak lebih tinggi dibandingkan tekanan pada sisi keluar roda gerak turbin, dimana tekanan tersebut bervariasi terhadap laju aliran fluida yang melalui turbin. Selanjutnya agar perubahan tekanan ini dapat terjadi, maka roda/*runner* dalam hal ini harus tertutup dari udara luar dan seluruhnya terisi air selama turbin beroperasi. Berikut merupakan contoh dari turbin reaksi:

1. Turbin *Kaplan*

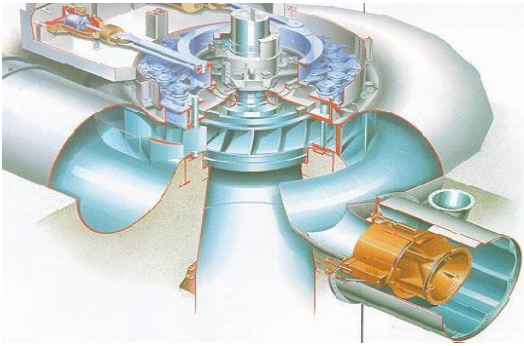
Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada turbin *kaplan* berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada *francis*, sudu-sudu pada roda jalan *Kaplan* dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin *Kaplan* dapat dilihat pada gambar 2.5. Turbin *Kaplan* banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun.



Gambar 2. 6 Turbin Kaplan

2. Turbin *Francis*

Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin *francis* dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.

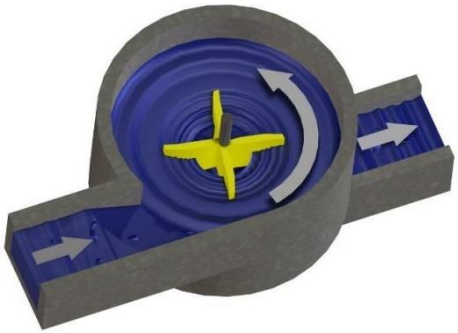


Gambar 2. 7 Turbin Francis

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 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. 8 Turbin Vorteks

2.3 Perhitungan yang digunakan

1. Kecepatan Aliran (V)

Kecepatan aliran pada saluran irigasi dapat dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$V = \frac{S}{t}$ ……..(2.1)

Dimana :

V = Kecepatan Aliran (m/s)

S = Jarak tempuh (m)

T = Waktu (s)

2. Debit Air

Untuk mengetahui debit aliran saluran irigasi yang ada dapat dihitung dengan persamaan berikut.

Q = A . V ..(2.2) (Pritchard and Leylegian, 2011:617)

Dimana :

Q = Debit (m^3/s)

A = Luas penampang Aliran (m^2)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

3. Daya Air (Pa)

Daya air secara teoritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagi berikut :

$Pa = \frac{1}{2}\ \rho.A.V^3 \ldots$ (2.4) (Pritchard and Leylegian, 2011:504)

Dimana :

Pa = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

A = Luas Penampang Aliran (m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

4. Gaya (F)

Besarnya gaya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$F = m.\ g$ ..... (2.4) (R.S. Khurmi & J.K. Gupta, 2005:10)

Dimana:

F = Gaya (N)

m= Massa (Kg)

g = Gravitasi (9,81 $m/_{s^2}$)

5. Torsi (T)

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$T = F.\ r$ …… (2.6) (R.S.Khurmi & J.K. Gupta, 2005:10)

Dimana:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r =jari jari poros (m)

6. Kecepatan Angular

Kecepatan angular Turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$\omega = \frac{2\,\pi\,n}{60}$ ……. (2.6) (R.S.Khurmi & J.K. Gupta, 2005:10)

Dimana :

ω = Kecepatan angular (rad/s)

n = Banyak putaran (rpm)

7. Daya Turbin (Pt)

Daya turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Pt $= T.\ \omega$ ……..…(2.7) (Pritchard andLeylegian, 2012:504)

Dimana:

Pt = Daya turbin (Watt)

`T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

8. Efisiensi Turbin (ηt)

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$\eta t = \frac{Pt}{Pa} \times 100\%$ …….(2.8) (Pritchard and Leylegian, 2012:504)

Dimana:

η = Efisiensi turbin

Pt = Daya turbin (Watt)

Pa = Daya air (Watt)

2.4 Metode Pengukuran Momen dan Daya

Menurut sejarah, orang sudah mengenal apa yang dinamakan alat pengukur daya dari suatu mesin dengan datangnya dynamo. Karena perkembangan pembuatan mesin atau motor yang kontinu dari tahun ketahunnya, maka secara otomatis perkembangan alat ukurnya berkembang pula, baik dalam segi konstruksi maupun bentuk perencanaannya yang mana ini akan menghasilkan ketelitian pengukuran yang baik. Sebetulnya pengukuran daya mesin merupakan pengukuran torsi yang berhubungan dengan tenaga mekanik, baik untuk tenaga yang diperlukan maupun tenaga yang dikembangkan oleh mesin. Dalam hal ini perlengkapannperlengkapan pengukur torsi itu biasanya dianggap sebagai dynamometer. Dewasa ini dynamometer itu dipergunakan untuk pengukuran pada seluruh perkembangan dari kerja mesin, mulai dari percobaan dan pengetesan motor bersilinder tunggal sampai motor pesawat terbang. Tetapi dalam hal ini bila mesin dalam keadaan tetap atau diam maka pengukuran dayanya sederhana dan mudah untuk dibuat, tetapi untuk keadaan dinamis mungkin sukar untuk menentukan pengukuran dayanya. Ukuran atau besaran untuk kerja suatu motor biasanya dalam bentuk torsi dan tenaga kuda. Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros engkol atau kemampuan motor untuk melakukan kerja, tetapi disini torsi merupakan jumlah gaya putar yang diberikan ke suatu mesin atau motor pembakaran terhadap panjang lengannya. Torsi

biasanya diberi simbol (τ) . Satuan untuk satuan torsi adalah Pounds-feet atau pounds-inch,dalam satuan British adalah ft.lb.

2.4.1 Dynamometer

Beberapa type dynamometer dipakai dalam pengetesan kerja mesin, tetapi menurut cara kerjanya dynamometer dibagi menjadi 3 macam yaitu:

1. Dynamometer Absorbsi
2. Dynamometer Transmisi
3. Dynamometer Penggerak

1. Dynamometer Absorbsi

Sesuai dengan namanya dynamometer ini menyerap daya yang diukur kemudian disebarkan kesekelilingnya dalam bentuk panas karenanya dynamometer ini secara khusus bermanfaat untuk pengukuran tenaga atau daya, torsi yang dikembangkan oleh sumber-sumber tenaga seperti motor bakar, motor listrik dan sebagainya. Dynamometer absorbsi ini dibagi menjadi 4 macam yaitu:

- Dynamometer Mekanis
- Dynamometer Air
- Dynamometer Udara
- Dynamometer Listrik

- Dynamometer Mekanis

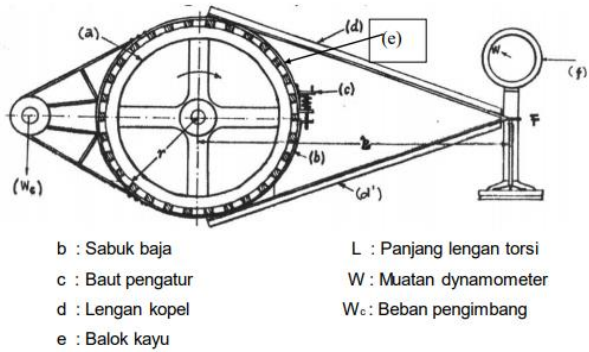
2.4.2 Dynamometer Mekanis

Pada dynamometer ini penyerapan daya dilaksanakan dengan memberikan gesekan mekanis secara langsung pada poros yang akan diuji sehingga timbul panas. Panas ini dipindahkan kesekeliling (atmosfer) dan kadang-kadang juga didinginkan oleh fluida pendingin yang lain, misalkan air. Yang termasuk dalam bentuk ini ialah:

1) Rem jepit atau prony brake dengan bahan kayu
2) Rem tali atau rope brake

A. Rem Jepit atau Prony Brake

Rem jepit atau prony brake dibuat dalam berbagai model, salah satu diantaranya terlihat dalam gambar dibawah ini.



Gambar 2. 9 Skema Pengujian Dengan Metode Prony Brake

Penyerapan daya dilakukan dengan jalan mengatur gesekan yang terjadi antara balok-balok kayu dengan rotor, dimana pengaturannya dilaksanakan dengan memutar baut pengatur (c). Rem ini terdiri dari balok-balok kayu (e) yang dipasang antara rotor dan sabuk baja (b), sedang rotor (a) bekerja pada poros pada dari suatu motor yang tenaga akan ditest.

Type rem jepit biasanya digunakan untuk pengukuran daya yang tidak terlalu besar dengan putaran poros maksimum 1000 rpm. Bila putaran tersebut tinggi, type ini harus di konstruksi dengan sangat hati-hati. Keuntungan-keuntungan:

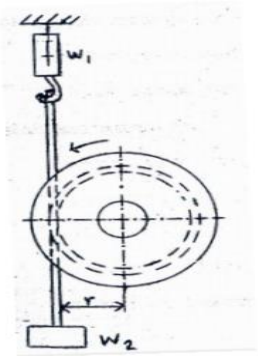
- Konstruksi sederhana, murah dan mudah dibuat
- Baik untuk putaran rendah

Kerugian-kerugian:

- Torsi yang konstan pada tiap tekanan, sehingga bisa mengikuti syarat syarat beban. Bila mesin kehilangan kecepatannya, rem akan menahan sampai mati
- Sukar menunjukan beban yang konstan
- Untuk pengukuran daya dari mesin-mesin tanpa governor akan menemui kesulitan
- Pada kecepatan tinggi pembacaan tidak stabil dan suaranya bising

B. Rem Tali atau Rope Brake

Cara kerja dari rem ini hampir sama dengan rem jepit, hanya rem ini terdiri dari tali disekeliling roda. Bahan tali biasanya kulit, ujung tali yang satu dikaitkan pada suatu spring balance dan ujung yang satunya lagi diberi beban seperti terlihat pada gambar dibawah ini penyerapan daya dilakukan oleh tali karena gesekan dengan roda



Gambar 2. 10 Skema Pengujian Dengan Metode Rope Brake

Rem Tali Sangat sederhana dalam pengaplikasiannya hanya mengguunakan tali dan spring yang mudah dibuat tapi hanya untuk putaraan rendah

2.5 Tinjauan Pustaka

Menurut Penelitian yang dilakukan oleh Giga (2019) dalam penelitian yang berjudul "EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU BERPENAMPANG SEGITIGA TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN CROSSFLOW POROS HORIZONTAL" menunjukkan bahwa adanya pengaruh terhadap jumlah sudu, dalam penelitian ini membandingkan jumlah sudu berjumlah 6,8, dan 10. Jumlah sudu berjumlah 8

memiliki Daya turbin optimum yakni dihasilkan pada kapasitas 11,804 L/s sebesar 2,834 Watt pada pembebanan 6500 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 8500 gram. Efisiensi turbin optimum dihasilkan dari pengujian pada variasi jumlah sudu 8 didapat pada kapasitas 11,804 L/s sebesar 77,55% pada pembebanan 6500 gram. Daya elektrik generator optomum dihasilkan dari pengujian pada variasi jumlah sudu 8, yaitu sebesar 1,067 Watt dengan beban lampu 1 Watt 12 V. Daya efisiensi overall optimum dihasilkan dari pengujian pada variasi jumlah sudu 8, yaitu sebesar 29,82% pada kapasitas 11,804L/s.

Penelitian yang dilakukan Ahamad Yani, Mihdar, Rudianto (2016) dalam penelitian yang berjudul "PENGARUH VARIASI BENTUK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN AIR KINETIK (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan)" Hasil penelitian menunjukan adanya pengaruh bentuk sudu terhadap kinerja atau daya dan efisiensi turbin air kinetik yaitu bentuk sudu lengkung memiliki daya dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sudu datar dan mangkuk. Daya dan efisiensi turbin maksimum terjadi pada sudu lengkung dengan nilai sebesar 4,699 Watt dan 29,659 %, kemudian menurun pada sudu mangkuk dengan nilai daya dan efisiensi

sebesar 4,508 Watt dan 28,457 %. Sedangkan daya dan efisiensi turbin terendah terjadi sudu datar dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 3,080 Watt dan 19,439 %.

Pada penelitian yang dilakukan Putra, Frisca Anugerah (2018). ANALISA PENGARUH SUDUT SUDU DAN DEBIT ALIRAN TERHDAP PERFORMA TURBIN KAPLAN. Hasil penelitian didaptkan bahwa pengaruh dari sudut kemiringan sudu. Sudut kemiringan sebesar 30° memiliki nilai unjuk kerja yang paling maksimum.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu peneletian untuk mengetahui ada tidaknya hubungan sebab akibat antara beberapa faktor yang saling berpengaruh. Pada eksperimen ini, peneliti membuat turbin *crossflow* tipe sudu berpenampang lengkung yang dialirkan pada arah aliran air *undershhoot* dan memvariasikan jumlah sudu 6 dan 12. Setelah pembuatan sudu turbin berpenampang lengkung dengan variasi jumlah sudu selesai, maka langkah selanjutnya alat akan diuji pada aliran irigasi sawah yang ada di Kelurahan Candirejo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang. Pengujian akan dilakukan dengan beberapa variabel untuk mendapatkan berapa jumlah sudu dengan sudu berpenampang lengkung yang optimal dan untuk mengetahui daya optimal turbin *crossflow*, *efisiensi* optimal turbin *crossflow*, daya elektrik generator optimal dan *efisiensi overall* optimal.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian turbin *crossflow* dengan arah aliran *undershoot* ini akan dilakukan pada waktu dan tempat sebagai berikut:

3.2.1 Waktu penelitian

Penelitian ini akan dilakukan setelah proposal yang akan diseminarkan ini disetujui dan setelah proses pembuatan dari turbin air jenis *crossflow* sudah terselesaikan.

3.2.2 Tempat penellitian

Penelitian turbin *crossflow* tipe sudu berpenampang melintang dengan variasi jumlah sudu, akan dilaksanakan pada aliran irigasi sawah yang ada di Kelurahan Candirejo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang.

3.3 Variabel peneletian

Variabel penelitian adalah suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang, objek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2014). Dalam penelitian ini terdiri dari tiga macam yaitu, variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

1. Variabel bebas (independent)

   Variabel bebas (independent) adalah merupakan variabel yang menpengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (dependent) (Sugiyono, 2014). Variabel bebas yang digunakan dalam

penelitian ini yaitu jumlah sudu pada runner turbin sebanyak 6 dan 12 sudu. Dan debit air yakni di kedalaman 5 cm dan 10 cm

2. Variable Terikat

Menurut Sugiyono (2014), variabel terikat merupakan variable yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daya turbin, dan efisiensi turbin.

3. Variable Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan supaya pengaruh variabel bebas ke variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain dari luar yang tidak diteliti. Dalam penlitian ini variabel kontrolnya yaitu:

a. Fluida kerja yang digunakan adalah air.

b. Bentuk sudu yang dibuat berpenampang lengkung ¼ Lingkaran Pipa PVC 4”

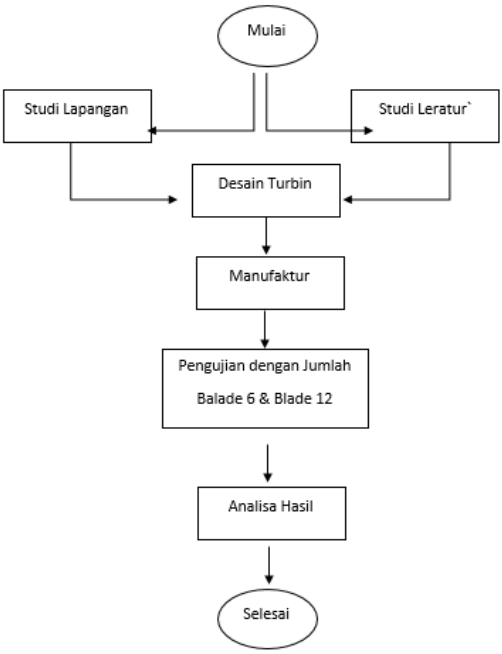
c. Pembebanan sebesar 1000 g, 2000 g, dan 4000 g dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.

d. Sudut kemiringin sudu ialah sebesar 30°

e. Kecepatan aliran steady

3.4 Urutan Pengerjaan

3.4.1 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4.2 Perencanaan dan pengerjaan

2

1. Studi lapangan

Dalam proses studi lapangan ditemukan sebuah permaslahan masalah sebagai berikut :

- Jumlah penggunaan energi listrik meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk
- Masih ketergantungan terhadap energi fosil
- Berkurangnya energi fosil
- Perlunya suatu inovasi dalam mengembangkkan energi terbarukan khususnya dalam pengembangan energi berbasis *mycrohydro*
- Adanya aliran sungai irigasi persawahan di Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang yang keberadaannya berpotensi untuk dilakukan proses pembangkitan energi listrik

Setelah mendapatkan sebuah permasalahan dari studi lapangan maka langkah selanjutnya ialah bagaimana cara untuk menyelesaikan permaslahan tersebut dengan cara membuat Turbin Air jenis *crossflow* aliran *undershoot* di saluran irigasi pada persawahan yang ada di Kelurahan Candirenggo Kabupaten Malang.

2. Studi literature

   Studi literature dilakukan dengan membaca jurnal, buku dan penelitian yang telah dilakukan orang lain yang berkaitan dengan turbin air. Jurnal yang dibaca berkaitan dengan proses pembuatan turbin air jenis *crossflow* dengan arah aliran *undershoot* selain itu Studi literure dilakukan terkait proses perancangan turbin air.

3. Studi lapangan

   Berdasarkan studi lapangan diperoleh data yakni kecepatan aliran sungai, dan lebar sungai data ini digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan dalam pembuatan turbin air.

4. Proses penentuan diameter runner

   Dalam proses penentuan diameter runner berdasarkan pada data kecepatan aliran air yang ada. Kecepatan aliran semula 1.1 m/s dinaikkan menjadi 2.21 m/s

3.5 Proses perancangan dan pembuatan

Dalam proses perancangan berkaitan dengan diameter runner, lebar runner, bentuk sudu yang dibuat, jumlah sudu, jarak antar sudu dan kemiringan sudut sudu. Untuk pembuatan runner menggunakan pipa pvc 4” dengan memotong ¼ lingkaran adapun perhitungan perancangan sebagai berikut :

3.5.1 Data perencanaan

Tabel 3. 1 Data Perencanaan

(Data diambil pada bulan 1 Februari 2021)

Kecepatan aliran sungai	1.1 m/s
Debit aliran sungai	0.297 $\boldsymbol{m^3}$/s

3.5.2 Head

$$\text{Head} = \frac{\frac{1}{2}v^2}{g}$$

$$= 0.2491 \text{ m}$$

3.5.3 Diameter runner

Diameter runner = 3 x head

= 3 x (0.2491 m)

= 0.747 m

Diameter efektif = Diameter runner – head

= 0.747 m – 0.2491

= 0,498 m diameter yang dipilih ialah 0.50 m

3.5.4 Lebar runner

Lebar runner disesuaikan pada lebar aliran yakni 0.50 m dikarenakan lebar aliran sungai 110 cm maka sisa yang tidak digunakan untuk tempat turbin tercelup digunakan untuk instalasi generator dan chasis penyangga turbin air. Namun dalam pelaksanaanya dibuat pengarah aliran sehingga aliran air tertuju pada permukaan turbin yang tercelup air.

3.5.5 Bentuk sudu

Bentuk sudu yang dibuat ialah berbentuk lengkung dengan material berbahan dari pipa PVC 4” pipa tersebut dibelah ¼ lingkaran sehingga dihasilkan pipa lengkung. Dipilih lengkung dikarenakan pada jurnal penelitian dihasilkan bahwa perbandingan bentuk sudu lengkung, datar, miring diperoleh bentuk lengkung yang memiliki daya dan efesiensi turbin paling tinggi.

b. Jumlah sudu

Jumlah sudu yang dipilih dalam perencanaan ialah berjumlah 12 dan 6 dikarenakan kemudahan dalam proses kontruksi

c. Jarak antar sudu (sudu jumlah 12)

Keliling turbin = 3,14 x diameter

= 3,14 x 0.50 cm

= 1.57 cmm

Jarak antar sudu = $\frac{Keliling\ lingkaran}{jumlah\ sudu}$

Jarak antar sudu = $\frac{1.57\ m}{12}$

Jarak antar sudu = 0.13 m

d. Sudut kemiringan sudu

Dalam perencanaan dipilih sudut sudu ialah sebesar 30° mengacu pada penelitian yang dilakukan Putra, Frisca Anugerah (2018). ANALISA PENGARUH SUDUT SUDU DAN DEBIT ALIRAN TERHDAP PERFORMA TURBIN KAPLAN. Hasil

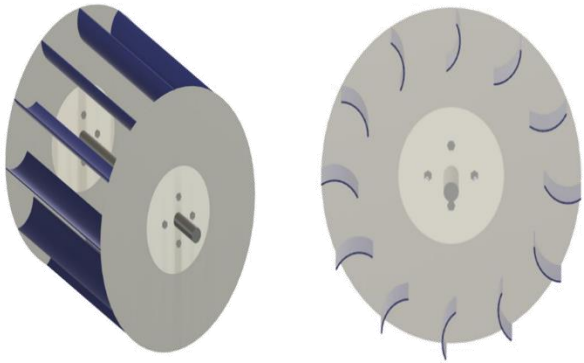
penelitian didaptkan bahwa pengaruh dari sudut kemiringan sudu. Sudut kemiringan sebesar 30° memiliki nilai unjuk kerja yang paling maksimum.

3.5 Desain Turbin

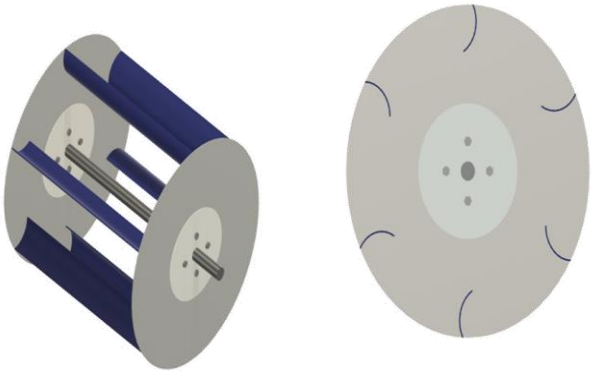
Desain Turbin Pada Proses pembuatan dilakukan proses desain dengan membuat 2 bentuk turbin air dengan variasi jumlah sudu. Adapun proses pembuatan desain dilakukan dengan aplikasi Solidwork 2013.

3.5.1 Sudu Runner

Sudu Runner merupakan komponen terpenting dalam perancangan turbin air, sudu merupakan bagian yang akan menerima energi yang diberikan oleh jatuh air sehingga turbin dapat berputar. Sudu turbin air pada penelitian ini dibuat sebanyak 12 buah dan 6 buah dibuat dengan bahan pipa PVC 4’ yang dipotong menjadi ¼ bagian. Lalu untuk Angle Of Attack nya adalah 30˚ berikut desain dari pembetukan sudu kincir tersebut



Gambar 3. 3 Sudu Turbin air dengan jumlah sudu 12

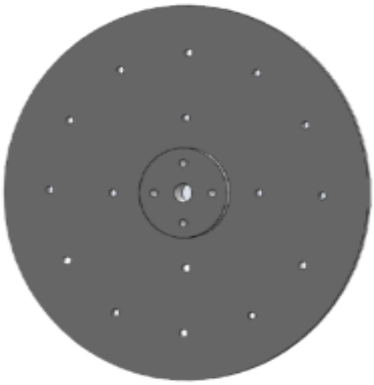


Gambar 3. 4 Sudu Turbin air dengan jumlah sudu 6

3.5.2 Dinding Runner

Dinding kincir ini merupakan bagian digunakan sebagai penyangga sudu dan sebagai penghalang agar air tidak keluar melalui sisi kiri atau kanan turbin

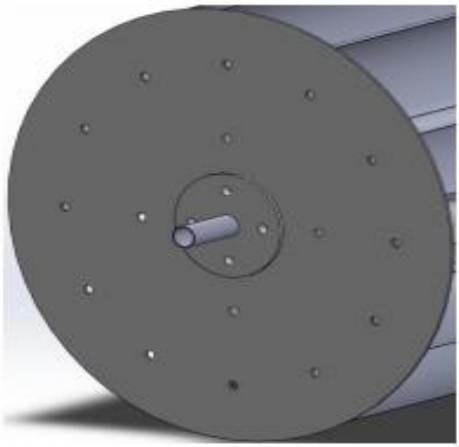
(tertampung) sehingga dapat mendorong sudu, tenaga dari air tersebutlah yang dapat sepenuhnya digunakan sebagai energi. Dinding runner ini dibuat menggunakan bahan besi plat stainless steel setebal 1 mm dengan diameter 50 cm



Gambar 3. 5 Dinding runner Turbin Air

3.5.3 Poros Runner

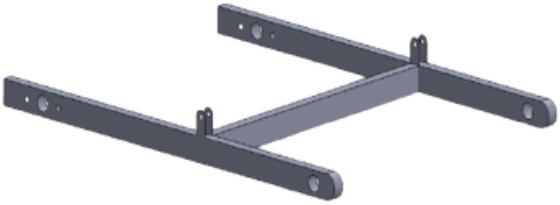
Poros kincir ini berguna sebagai penopang seluruh beban kincir yang dipasang pada bagian tengah runner secara horizontal untuk meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Selain dapat menopang runner, poros ini juga berguna untuk memutar runner yang akan di transmisikan menjadi suatu energy



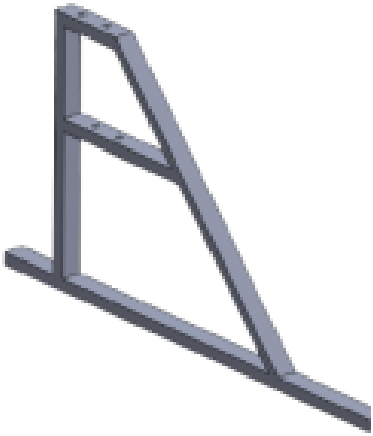
Gambar 3. 6 Poros Runner Turbin

3.5.4 Frame Turbin

Frame berguna sebagai tempat dudukan Runner, Frame sendiri dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian lengan dan bagian kaki kaki. Untuk bagian lengan adalah bagian yang menjadi dudukan runner yang dipasangkan sebuah bearing. Lalu untuk kaki kaki adalah sebagain tumpuan secara keseluruhan yaitu runner dan lengan. Frame terbuat bahan dasar besi 3x4 hollow persegi dan model U dengan ketebalan 3 mm.



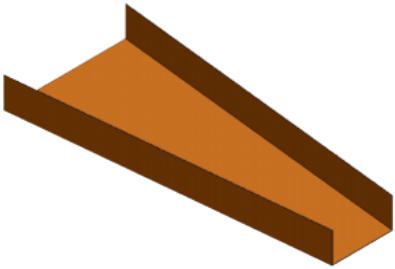
Gambar 3. 7 Frame Turbin Air



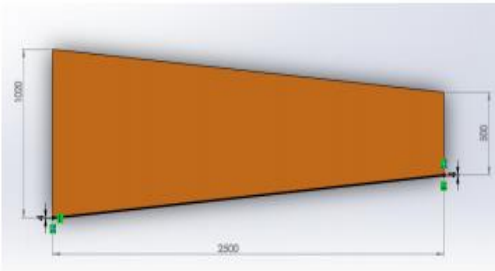
Gambar 3. 8 Frame penyangga

3.5.5 Saluran Pengarah

Saluran pengarah pada pengujian kali ini ialah berbahan kayu triplek dengan ukuran sedemekian berfungsi untuk mengarahkan aliran sehinggga aliran masuk mengenai tepat pada runner turbin air.



Gambar 3. 9 Saluran Pengarah



Gambar 3. 10 Dimensi Saluran Pengarah

3.5.6 Desain Turbin Secara Keseluruahan

Berikut adalah desain assembly secara keseluran turbin jenis Aliran *undershoot* yang diaplikasikan di saluran irigasi sawah Desa Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang

Gambar 3.10 Desain Kesuluruhan Turbin

3.6 Proses pengerjaan

Dalam proses pengerjaan dalam penelitian ini dilakukan pembuatan meliputi :

- Membuat turbin jenis *crossflow* dengan jumlah sudu 6, dan 12.
- Membuat rangka penyangga turbin.
- Membuat sistem pengereman *rope brake* yang digunakan untuk pengujian.

Dalam proses pembuatan dilakukan di bengkel UPT Pande Besi di Jalan Kolonel Sugiono No. 164, RW 2. Belahan, Ngingas, Waru Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61256.

3.7 Pengujian dan pengambilan data

Setelah alat selesai dibuat maka langkah selanjutnya ialah melakukan pengujian dan pengambilan data pada alat yang telah dibuat yakni turbin jenis *crossflow* dengan jumlah sudu 6 dan 12 Adapun pengujian yang dilakukan terkait pengaruh jumlah sudu 6, dan 12 terhadap daya turbin, dan efisiensi turbin. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan pembebanan sampai turbin berputar.

3.7 1 Analisa Hasil

Setelah melakukan sebuah pengujian data dan pengambilan data maka langkah selanjutnya ialah menganalisa data yang telah didapat dari proses pengujian. Proses analisa hasil digambarkan dengan menggunakan tabel dan grafik supaya memudahkan dalam proses pembacaan. Adapun analisa yang dilakukan ialah pengaruh jumlah sudu dan debit air terhadap daya turbin, dan efisiensi turbin.

3.7.2 Kesimpulan

Setelah keseluruhan tahapan selesai dilakukan maka proses selanjutnya ialah penarikan sebuah kesimpulan. Penarikan kesimpulan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu dan debit air pada turbin air jenis *crossflow* pada profil penampang berbentuk lengkung dengan arah aliran *undershoot* terhadap daya turbin, efisiensi turbin.

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 9 Juli 2021 di aliran irigasi sawah yang berada di Kelurahan Candirenggo Kecamatan Singosari Kabupaten Malang dengan tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data Kondisi Aliran irigasi

No	Keterengan	Nilai
1	Kecepatan Aliran air rata rata (v)	1.53 m/s
2	Kapasitas Aliran	0,038 m^3/s , 0,076m^3/s
3	Beban (m)	0-28.0 *gram*

4.2 Perhitungan

Untuk mempermudah pengujian dan pengambilan pengujian dan pengambilan kesimpulan dilakukan perhitungan- data hasil pengujian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Beberapa data yang diperlukan

untuk melakukan analisa adalah sebagai berikut :

4.2.1 Kapasitas air

Kapasitas aliran air diperoleh dari persamaan berikut:

$$Q = A \,.\, \bar{v}$$

Dimana :

Q = Kapasitas Aliran (m^3/s)

A = Luas penampang Tertabrak (m^2)

V = Kecepatan rata rata aliran sungai (m/s)

Contoh perhitungan untuk kapasitas air dengan luas penampang runner tercelup 0,05 mm dari persamaan 2.2 :

$Q = A \,.\, \bar{v}$

Q = (0,5 m x 0,05 m) 1,53 m/s

Q = 0,025 m^2 x 1,53 m/s

Q = 0,038 m^3/s

4.2.2 Daya air

Energi yang dimiliki oleh air dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$Pa = \frac{1}{2}\rho . Q . \bar{v}^2$$

Dimana :

Pa = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

Q = Kapsitas Aliran (m^3/s)

$\tilde{v}$ = Kecepatan rata rata aliran air (m/s)

Contoh perhitungan untuk daya air pada kapasitas aliran 0,038 m^3/s dari persamaan 2.3 :

$$Pa = \frac{1}{2}\rho . Q . \bar{v}^2$$

$$Pa = \frac{1}{2} 1000 \frac{Kg}{m^3} x\ 0{,}024 \frac{m^3}{s} x\ (0{,}96 \frac{m}{s})^2$$

Pa = 16,75 watt

4.2.3 Torsi

Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan sistem pengereman dengan menggantungkan beban pada pulley yang diputar. Adapun torsi dapat didapatkan dengan cara perkalian antara gaya dikali dengan jari jari poros Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = F \times r$$

Dimana :

τ = torsi (N.m)

F = gaya pembebanan (N)

r = jari-jari pulley (m)

Contoh perhitungan torsi pada kapsitas aliran 0,024 $\frac{m^3}{s}$ dan pada gaya 23,568 N pada jumlah sudu sebanyak 12 buah dari persamaan 2.5:

$$\tau = F \times r$$

$$\tau = \ \times r$$

$$\tau = 23{,}568 \text{ N} \times 0{,}0381 \text{ m}$$

$$\tau = 1{,}0084 \text{ N.m}$$

4.2.4 Kecepatan Angular

Kecepatan angular Turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

ω = Kecepatan angular (rad/s)

n = Banyak putaran (rpm)

Contoh perhitungan Kecepatan angular pada kapsitas aliran 0,024 $\frac{m^3}{s}$ dan pada gaya 23,568 N pada jumlah sudu sebanyak 12 buah dengan banyaknya putaran sebanyak 50,4 rpm dari persamaan 2.6:

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

$$\omega = \frac{2\ 3{,}14.50{,}4\ rpm}{60\ s}$$

$$\omega = 5{,}2752 \text{ rad/s}$$

4.2.5 Daya Turbin (Pt)

Daya Turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Pt} = T.\ \omega$$

Dimana:

Pt = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

Contoh perhitungan Daya Turbin pada kapsitas aliran 0,024 $\frac{m^3}{s}$ dan pada gaya 23,568 N pada jumlah sudu sebanyak 12 buah dari persamaan 2.7:

Pt $= T.\ \omega$

Pt = 1,0084 N.m x 5,2752 rad/s

Pt = 5,321 Watt

4.2.6 Efisiensi Turbin (ηt)

Efisiensi Turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$\eta t = \frac{Pt}{Pa} \times 100\%$

η = Efisiensi turbin

Pt = Daya turbin (Watt)

Pa = Daya air (Watt)

Contoh perhitungan Efisiensi Turbin pada kapsitas aliran $0{,}024\ \frac{m^3}{s}$ dan pada gaya 23,568 N pada jumlah sudu sebanyak 12 buah dari persamaan 2.8:

ηt = Pt/Pa× 100%

$\eta t = 5{,}321$ watt / 16,75 Watt

ηt = 31,772 %

4.2 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Unjuk kerja

Data hasil pengujian dan perhitungan ini dengan mengunakan metode tabel dan grafik hal ini dilakukan untuk mempermudah hasil penelitian turbin air sumbu horizontal. Hasil pengujian dan perhitungan unjuk kerja turbin air sumbu horizontal dengan variasi jumlah sudu dan kedalaman celup serta *angle of attack* sebesar 30º meliputi unjuk kerja putaran turbin fungsi beban, unjuk kerja torsi fungsi beban, unjuk kerja daya fungsi beban, unjuk kerja efisiensi fungsi beban.

4.2.1 Unjuk Kerja Gaya Terhadap Fungsi Putaran

Tabel 4. 2 Data Gaya terhadap RPM kapasitas aliran 0,024 m^3/s

Kapasitas Aliran m^3/s	Gaya (N)		RPM	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,024 m^3/s	0	0	114	99,3
	2,9421	1,9614	107,2	95,6
	5,8842	3,9228	100,3	89,7
	8,8263	5,8842	94,3	78,2
	11,7684	7,8456	87,3	69,3
	14,7105	9,807	80,3	60,2
	17,6526	11,7684	73,2	52,1
	20,5947	13,7298	65,3	45,2
	23,5368	15,6912	58,9	30,3
	26,4789	17,6526	50,4	15,3

Tabel 4.2 Lanjutan

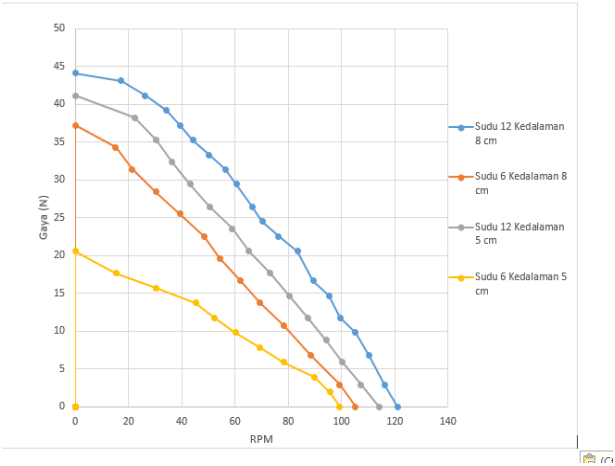
	29,421	20,5947	43,2	0
	32,3631	0	36,3	0
	35,3052	0	30,4	0
	38,2473	0	22,3	0
	41,1894	0	0	0

Tabel 4.3 Data Gaya terhadap Putaran (Kapasitas aliran = 0,0384m^3/s):

Kapasitas Aliran	Gaya (N)		RPM	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,0384m^3/s	0	0	121	105,2
	2,9421	2,9421	116,2	99,3
	6,8649	6,8649	110,2	88,3
	9,807	10,7877	105,2	78,3
	11,7684	13,7298	99,4	69,4
	14,7105	16,6719	95,3	62,1
	16,6719	19,614	89,3	54,3
	20,5947	22,5561	83,5	48,3
	22,5561	25,4982	76,4	39,3
	24,5175	28,4403	70,3	30,2

Tabel 4.3 Lanjutan

	26,4789	31,3824	66,4	21,4
	29,421	34,3245	60,5	15,2
	31,3824	37,2666	56,4	0
	33,3438	0	50,3	0
	35,3052	0	44,2	0
	37,2666	0	39,4	0
	39,228	0	34,2	0
	41,1894	0	26,2	0
	43,1508	0	17,2	0
	44,1315	0	0	0



Gambar 4. 1 Grafik Gaya terhadap fungsi RPM

Dari grafik putaran turbin fungsi beban diatas, akan didapatkan bahwa semakin tinggi gaya yang diberikan maka putaran turbin yang didapatkan semakin kecil.

Pada pengujian pada kapasitas aliran 0,024 m^3/s pada pembebanan tanpa beban akan didapatkan putaran turbin maksimum pada jumlah sudu turbin dengan jumlah 12 dengan nilai putaran sebesar 114 rpm sedangkan pada jumlah turbin berjumlah 6 didapatkan putaran maksimum tanpa beban sebesar 99,3 rpm. Pada pengujian dengan gaya sebesar 20,5947 N pada jumlah sudu 6 memiliki nilai putaran sebesar 0 artinya turbin dengan jumlah sudu 6 berhenti berputar. Turbin dengan jumlah sudu 12 memiliki nilai gaya maksimum sebesar 41,1894 N artinya pada gaya tersebut turbin memiliki nilai putaran sebesar 0.

Pada pengujian pada kapasitas aliran 0,0384 m^3/s pada pembebanan tanpa beban akan didapatkan putaran turbin maksimum pada jumlah sudu 12 dengan nilai putaran sebesar 121 rpm sedangkan pada jumlah turbin berjumlah 6 didapatkan putaran maksimum tanpa beban sebesar 105,2 rpm. Pada pengujian dengan gaya sebesar 37,2666 N pada jumlah sudu 6 memiliki nilai putaran sebesar 0 artinya turbin dengan jumlah sudu 6 berhenti berputar. Turbin dengan jumlah sudu 12 berhenti berputar pada gaya sebesar 44,1315 N

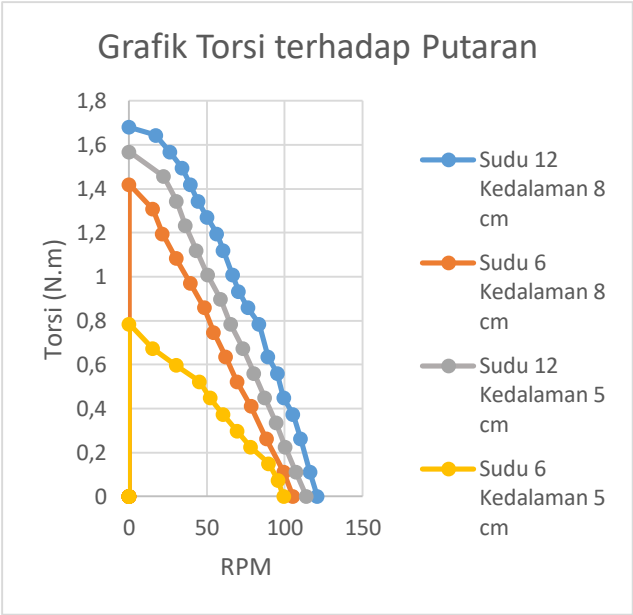
4.2.2 Unjuk Kerja Torsi Terhadap Putaran

Tabel 4. 4 Data Perhitungan Torsi terhadap putaran (Kapasitas aliran = 0,024 m^3/s):

Kapasitas Aliran	Gaya (N)		RPM	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,024 m^3/s	0	0	114	99,3
	0,11201	0,0747	107,2	95,6
	0,22418	0,1494	100,3	89,7
	0,33628	0,2241	94,3	78,2
	0,44837	0,2989	87,3	69,3
	0,56047	0,3736	80,3	60,2
	0,67256	0,4483	73,2	52,1
	0,78465	0,52310	65,3	45,2
	0,89675	0,59783	58,9	30,3
	1,00884	0,672564	50,4	15,3
	1,1209	0,78465	43,2	0
	1,2330	0	36,3	0
	1,3451	0	30,4	0
	1,4572	0	22,3	0
	1,5691	0	0	0

Tabel 4. 5 Data Perhitungan Torsi terhadap Putaran (Kapasitas aliran 0,0384 m^3/s)

Kapasitas Aliran	Gaya (N)		RPM	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,0384 m^3/s	0	0	121	105,2
	0,11209	0,1120	116,2	99,3
	0,26159	0,261	110,2	88,3
	0,37364	0,4110	105,2	78,3
	0,44837	0,5231	99,4	69,4
	0,56047	0,6351	95,3	62,1
	0,63512	0,747	89,3	54,3
	0,78465	0,8593	83,5	48,3
	0,85938	0,971	76,4	39,3
	0,93411	1,0835	70,3	30,2
	1,0088	1,1956	66,4	21,4
	1,1209	1,3077	60,5	15,2
	1,1956	1,4198	56,4	0
	1,27039	0	50,3	0
	1,3451	0	44,2	0
	1,4198	0	39,4	0
	1,4945	0	34,2	0
	1,5693	0	26,2	0



Gambar 4. 2 Grafik Torsi terhadap fungsi putaran

Pada pengujian kapasitas aliran air sebesar 0,024 m^3/s. Torsi maksimum pada Jumlah sudu berjumlah 12 ialah sebesar 1,56931614 N.m pada jumlah sudu 6 torsi maksimum terjadi pada nilai torsi sebesar 0,78465807 N.m. Pada Jumlah sudu 12 diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi sebesar 1,56931614 N.m, turbin sudah tidak dapat menghasilkan putaran ($\omega = 0\ rad/s$). Sama halnya dengan jumlah sudu 6, pada jumlah sudu 6 nilai torsi sebesar

0,78465807 N.m turbin tidak bisa berputar. Saat tanpa pembebanan yakni torsi 0 putaran turbin dengan jumlah sudu 6 ialah sebesar 114 Rpm sedangkan pada Jumlah sudu 6 memiliki nilai putaran sebesar 93,7 rpm.

Pada pengujian kapasitas aliran air sebesar 0,076 m^3/s. Torsi maksimum pada Jumlah sudu berjumlah 12 ialah sebesar 3,840615 N.m pada jumlah sudu 6 torsi maksimum terjadi pada nilai torsi sebesar 3,44331 N.m. Pada Jumlah sudu 12 diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi sebesar 3,84061 N.m, turbin sudah tidak dapat menghasilkan putaran (ω = 0 rad/s) karena pada beban 29 Kg turbin dengan jumlah sudu 12 turbin tidak dapat lagi berputar. Sama halnya dengan jumlah sudu 6, pada jumlah sudu 6 nilai torsi sebesar 3,44331 N.m turbin tidak bisa berputar. Saat tanpa pembebanan yakni torsi 0 putaran turbin ialah sebesar 112,3 Rpm sedangkan pada Jumlah sudu 6 memiliki nilai putaran sebesar 99,3 rpm.

Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi torsi yang dihasilkan oleh turbin ini maka semakin rendah putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan semakin besar beban yang diberikan akan semakin besar torsinya.

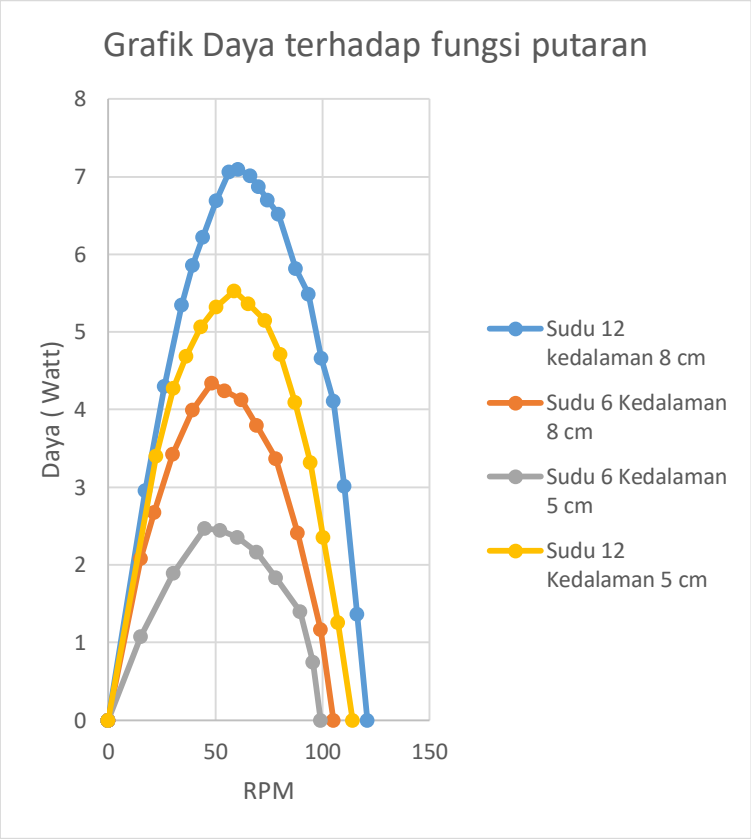
4.2.3 Unjuk Kerja DayaTurbin Fungsi Putaran

Tabel 4. 6 Perhitungan Daya Turbin Air Fungsi Putaran pada kapsitas Aliran 0,024 m^3/s

Kapasitas Aliran	RPM		Daya (Watt)	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,024 m^3/s	114	99,3	114	99,3
	107,2	95,6	107,2	95,6
	100,3	89,7	100,3	89,7
	94,3	78,2	94,3	78,2
	87,3	69,3	87,3	69,3
	80,3	60,2	80,3	60,2
	73,2	52,1	73,2	52,1
	65,3	45,2	65,3	45,2
	58,9	30,3	58,9	30,3
	50,4	15,3	50,4	15,3
	43,2	0	43,2	0
	36,3	0	36,3	0
	30,4	0	30,4	0
	22,3	0	22,3	0
	0	0	0	0

Tabel 4. 7 Data Perhitungan Daya Turbin Air Fungsi Putaran pada kapsitas Aliran 0,0384 m^3

Kapasitas Aliran	RPM		Daya (Watt)	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,0384 m^3/s	121	105,2	0	0
	116,2	99,3	1,3633	1,165
	110,2	88,3	3,0168	2,417
	105,2	78,3	4,1141	3,368
	99,4	69,4	4,6648	3,7997
	95,3	62,1	5,5905	4,128
	89,3	54,3	5,93703	4,2471
	83,5	48,3	6,85764	4,3445
	76,4	39,3	6,8721	3,9960
	70,3	30,2	6,8732	3,4251
	66,4	21,4	7,0113	2,6781
	60,5	15,2	7,09816	2,080
	56,4	56,4	7,05827	0
	50,3	50,3	6,68831	0
	39,4	0	5,8530	0
	34,2	0	5,3500	0
	26,2	0	4,30348	0
	17,2	0	2,95972	0
	0	0	0	0



Gambar 4. 3 Grafik Daya Turbin terhadap fungsi Putaran

Dalam Grafik tersebut didapatkan bahwasannya semakin menurun putaran turbin berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Daya akan mengalami nilai maksimum di suatu puncak kemudian daya akan menurun dikarenakan putaran juga

menurun. Rumus dari daya sendiri ialah (Pt= T.w) apabila omega berkurang maka nilai daya akan berkurang.

Pada pengujian kapsitas aliran 0,024 m^3/s dengan turbin air jumlah sudu 12 terjadi nilai daya maksimum di putaran 58,9 RPM sebesar 5,528357006 Watt setelah mencapai putaran maksimum daya akan menurun sampai 0 dikarenakan nilai putarannya ialah 0. Daya terendah yang mampu dihasilkan turbin air dengan jumlah sudu 12 ini ialah sebesar 3,4012536 Watt sedangkan pada jumlah sudu 6 memiliki nilai daya maksimum ialah 4,34454711Watt pada putaran 48,3 RPM daya akan menurun setelah melewati nilai puncak. Daya terendah yang mampu dihasilkan pada jumlah sudu 6 ialah sebesar 1,07704409 Watt pada putaran 15,3 RPM.

Pada pengujian kapsitas aliran 0,0384 m^3/s dengan turbin air jumlah sudu 12 terjadi nilai daya maksimum di putaran 60,5 sebesar 7,09816636 Watt. Setelah mencapai putaran maksimum daya akan menurun sampai 0 dikarenakan nilai putarannya ialah 0. Daya terendah yang mampu dihasilkan turbin air jumlah sudu 12 ialah sebesar 2,018239 Watt sedangkan pada jumlah sudu 6 memiliki nilai daya maksimum 7,09816636 watt pada putaran 60,5 Rpm daya akan menurun setelah melewati nilai puncak. Daya terendah yang mampu dihasilkan pada jumlah sudu 6 ialah sebesar 2,08056446 Watt pada putaran 15,2 RPM

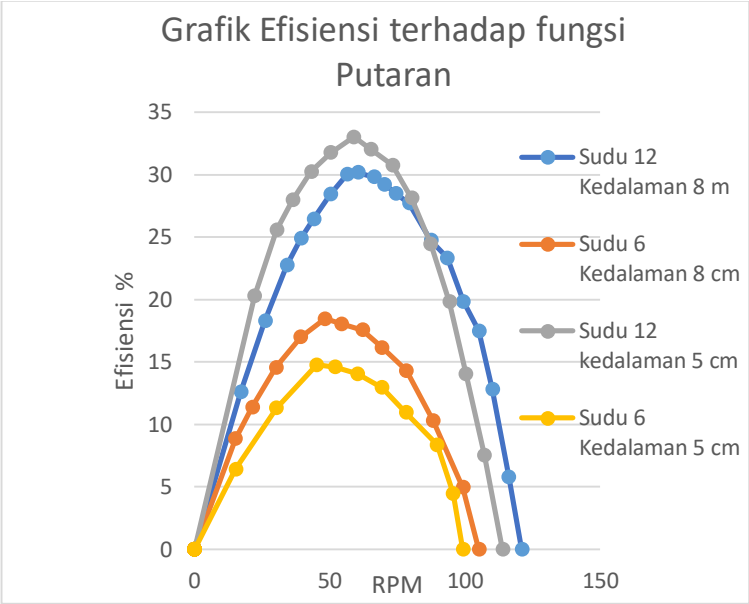
4.2.4 Unjuk Kerja Efisiensi Turbin Fungsi Putaran

Tabel 4. 8 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Air Fungsi Putaran pada kapsitas Aliran 0,024 m^3/s.

Kapasitas Aliran	RPM		Daya (Watt)	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,024 m^3/s	114	99,3	0	0
	107,2	95,6	7,508	4,464
	100,3	89,7	14,05	8,377
	94,3	78,2	19,81	10,95
	87,3	69,3	24,45	12,94
	80,3	60,2	28,12	14,05
	73,2	52,1	30,76	14,59
	65,3	45,2	32,01	14,77
	58,9	30,3	33,00	11,31
	50,4	15,3	31,77	6,430
	43,2	0	30,25	0
	36,3	0	27,97	0
	30,4	0	25,55	0
	22,3	0	20,30	0
	0	0	0	0

Tabel 4. 9 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Air Fungsi putaran pada kapsitas Aliran 0,0384 m^3/s

Kapasitas Aliran	RPM		Daya (Watt)	
	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6
0,0384 m^3/s	121	105,2	0	0
	116,2	99,3	5,7964	4,953392
	110,2	88,3	12,826	10,27758
	105,2	78,3	17,492	14,3214
	99,4	69,4	19,833	16,1554
	93,5	62,1	23,320	17,5538
	87,5	54,3	24,733	18,05768
	79,4	48,3	27,725	18,47171
	74,5	39,3	28,491	16,99018
	70,3	30,2	29,223	14,56254
	66,4	21,4	29,810	11,38665
	60,5	15,2	30,179	8,845937
	56,4	0	30,009	0
	50,3	0	28,436	0
	44,2	0	26,45	0
	39,4	0	24,849	0
	34,2	0	22,74	0
	26,2	0	18,297	0
	0	0	0	0



Gambar 4. 4 Grafik Efisiensi Turbin terhadap fungsi putaran

Dari grafik efisiensi fungsi beban, didapatkan efisiensi sesuai dengan persamaan $\eta = P\ w \times 100\%$, artinya semakin tinggi daya turbin (daya output) yang dihasilkan maka semakin tinggi efisiensi yang dihasilkan. Dikarenakan daya air (daya input) sama di setiap kapasitas aliran air.

Pada pengujian dengan kapsitas aliran air 0,024 m^3/s dengan jumlah sudu berjumlah 12 daya output (P)

maksimum yang dihasilkan turbin air sebesar 5,528357 Watt dan daya input (W) 16,75 Watt, dikarenakan torsi (τ) 0,597 N.m dan putaran turbin (ω) 6,164 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin air berdasarkan persamaan diatas adalah 33,0 %. Dan turbin air tidak akan menghasilkan efisiensi padaGaya 0 N dan 41,1894 N karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt. Pada pengujian dengan jumlah sudu berjumlah 6 daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin air sebesar 2,4747 Watt dan daya input (W) 16,75 Watt, dikarenakan torsi (τ) 0,523 N.m dan putaran turbin (ω) 4,730 rad/s sehingga efisiensi tertinggi yang dihasilkan oleh turbin air berdasarkan persamaan diatas adalah 14,774 %. Dan turbin air tidak akan menghasilkan efisiensi pada Gaya 0 N dan 20,5497 N karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt.

Pada pengujian dengan kapsitas aliran air 0,0384 m^3/s dengan jumlah sudu berjumlah 12 daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin air sebesar 7,0981 Watt dan daya input (W) 23,52 Watt, dikarenakan torsi (τ) 1,1209401 N.m dan putaran turbin (ω) 6,33233 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin air berdasarkan persamaan diatas adalah 30,179 %. Dan turbin air tidak akan menghasilkan efisiensi pada Gaya 0 N dan

44,1315 N karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt. Pada pengujian dengan jumlah sudu berjumlah 6 daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin air sebesar 9,74188 Watt dan daya input (W) 89,25 Watt, dikarenakan torsi (τ) 1,85409 N.m dan putaran turbin (ω) 5,25427 rad/s sehingga efisiensi tertinggi yang dihasilkan oleh turbin air berdasarkan persamaan diatas adalah 10,9153 %. Dan turbin air tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 24 Kg karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt.

Dapat disimpulkan bahwasannya efisiensi maksimum yang tertinggi dihasilkan oleh turbin air pada kapasitas aliran sebesar 0,024 m^3/s ialah pada Jumlah sudu berjumlah 12 dengan daya output (P) 5,528357 Watt dan daya input (W) 16,75 Watt. Efisiensi yang terjadi sebesar 33,0 %.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi jumlah sudu 6 dan 12 pada turbin crossflow dengan bentuk sudu ¼ Lingkarran pada sumbu *horizontal* pada arah aliran air *undershoot* terhadap Daya dan Efisiensi yang dihasilkan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya pengaruh variasi jumlah sudu terhadap Daya turbin air. Turbin dengan jumlah sudu 12 memiliki nilai Daya yang paling maksimum yakni sebesar 7,0981 Watt terjadi saat putaran sebesar 60,5 rpm dan torsi sebesar 1,12094 N.m.
2. Adanya pengaruh dari variasi kapasitas terhadap efisiensi. Turbin dengan kapasitas aliran 0,024 m^3/s memiliki Efisiensi tertinggi yakni sebesar 33,0 %.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan dan analisis mengenai pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang lengkung ½ Lingkaran terhadap putaran, torsi, daya, dan efisiensi

yang dihasilkan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut

1. Mengingat manfaat yang diperoleh, turbin poros horizontal ini harusnya dapat dikembangkan. Namun, dalam pengembangannya perlu diperhatikan pula kapasitas aliran dan lebar saluran yang digunakan.
2. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya peralatan dan komponen yang dapat menunjang proses penelitian lebih diperbarui, hal ini dimaksudkan agar mempermudah dan memperlancar proses pengambilan data selama pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Yani, A., Mihdar., & Erianto, R. (2017). PENGARUH VARIASI BENTUK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN AIR KINETIK (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*

[2]. Kadir, Muhamad,. (2019). PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN DAN LEBAR SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN DARRIEUS DENGAN PROFIL SUDU NACA 0021. KURVATEK VOL 04 NO 1

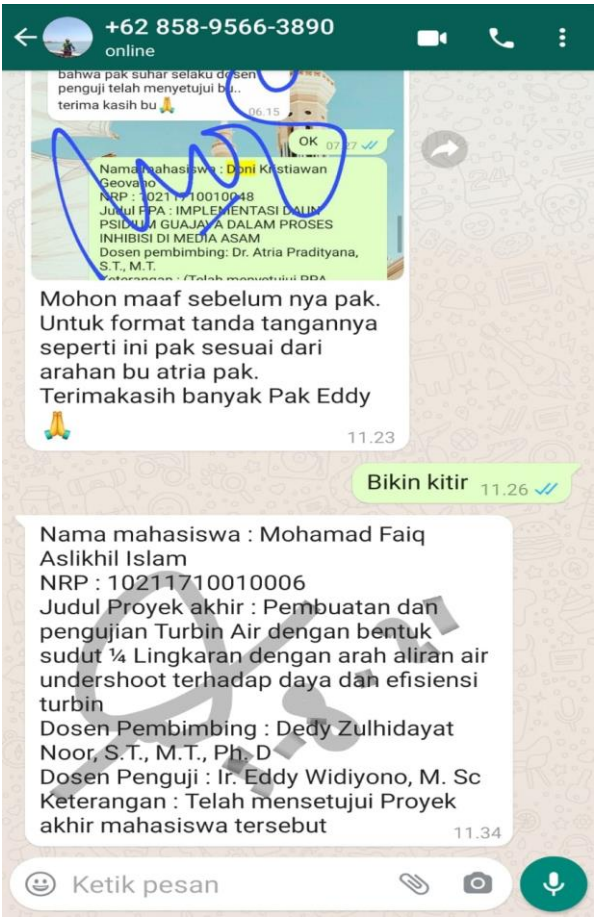
[3]. Hirman, S., 2017. *Turbin Air Teori Dasar dan Perencanaan*. Yogyakarta : Penerbit Andi

[4]. Ryan, G., (2019). EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU BERPENAMPANG SEGITIGA TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN CROSSFLOW POROS HORIZONTAL. Skripsi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin. Universitas Negeri Surabaya: Surabaya.

[5] Putra, Frisca Anugerah (2018). ANALISA PENGARUH SUDUT SUDU DAN DEBIT ALIRAN TERHDAP PERFORMA TURBIN KAPLAN. Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Volume 1 No. 1 (2018)

Lampiran 1 : PERSETUJUAN PROYEK AKHIR DARI DOSEN PENGUJI Ir. Arino Anzip, M.Eng, Sc

Lampiran 2 : PERSETUJUAN PROYEK AKHIR DARI DOSEN PENGUJI Ir. EDDY WIDIYONO, M.Sc



Lampiran 4 : Foto Pengujian

Lampiran 5 : Data hasil pengujian kapsitas aliran 0,024 m^3/s

Kapasitas Aliran (m3/s)	Timbangan A (Kgf)		Timbangan B (Kgf)	Gaya (N)		Torsi (N.m)		Omega (Rad/s)		Daya Turbin (Watt)		Efisiensi Turbin %		Daya Air
	Sudu 12	Sudu 6		Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	
0,024 m3/s	0	0	0	0	0	0	0	11,932	10,3934	0	0	0	0	16,75
	0,2	0,3	0,5	2,9421	4,9035	0,112094	0,18682335	11,22026667	10,00613333	1,257724684	0,74775174	7,5088041	4,46418949	
	0,4	0,6	1	5,8842	9,807	0,224188	0,3736467	10,49806667	9,3886	2,35354078	1,40320776	14,05099	8,37735978	
	0,6	0,9	1,5	8,8263	14,7105	0,336282	0,56047005	9,870066667	8,184933333	3,319126055	1,834964	19,815678	10,9550089	
	0,8	1,2	2	11,7684	19,614	0,448376	0,7472934	9,1374	7,2534	4,096991228	2,16816718	24,459649	12,9442817	
	1	1,5	2,5	14,7105	24,5175	0,56047	0,93411675	8,404733333	6,300933333	4,710601312	2,35432295	28,122993	14,0556594	
	1,2	1,8	3	17,6526	29,421	0,672564	1,1209401	7,6616	5,453133333	5,152916802	2,44505433	30,763682	14,5973393	
	1,4	2,1	3,5	20,5947	34,3245	0,784658	1,30776345	6,834733333	4,730933333	5,362928666	2,47477668	32,017485	14,7747861	
	1,6	2,4	4	23,5368	39,228	0,896752	1,4945868	6,164866667	3,1714	5,528357006	1,89597303	33,005116	11,319242	
	1,8	2,7	4,5	26,4789	44,1315	1,008846	1,68141015	5,2752	1,6014	5,321864894	1,07704409	31,772528	6,43011394	
	2	3	5	29,421	49,035	1,12094	1,86823355	4,5216	0	5,068442756	0	30,25936	0	
	2,2	3,3	5,5	32,3631	0	1,233034	0	3,7994	0	4,684789798	0	27,968894	0	
	2,4	3,6	6	35,3052	0	1,345128	0	3,181866667	0	4,280018327	0	25,552348	0	
	2,6	3,9	6,5	38,2473	0	1,457222	0	2,334066667	0	3,4012536	0	20,305992	0	
	2,8	4,2	7	41,1894	0	1,569316	0	0	0	0	0	0	0	

Lampiran 5 : Data hasil pengujian kapsitas aliran 0,038 m^3/s

Kapasitas Aliran (m3/s)	Timbangan A (Kgf)		Timbangan B (Kgf)	Gaya (N)		Torsi (N.m)		Omega (Rad/s)		Daya Turbin (Watt)		Efisiensi Turbin %		Daya Air
	Sudu 12	Sudu 6		Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	Sudu 12	Sudu 6	
	0	0	0	0	0	0	0	12,66466667	11,01093333	0	0			
	0,2	0,2	0,5	2,9421	2,9421	0,11209401	0,11209401	12,16226667	10,3934	1,363317241	1,16503788	0	0	
	0,3	0,3	1	6,8649	6,8649	0,26155269	0,26155269	11,53426667	9,242066667	3,016818474	2,4172874	5,7964168	4,95339236	
	0,5	0,4	1,5	9,807	10,7877	0,3736467	0,41101137	11,01093333	8,1954	4,114198904	3,36840258	12,826609	10,2775825	
	0,8	0,6	2	11,7684	13,7298	0,44837604	0,52310538	10,40386667	7,263866667	4,664844537	3,79976773	17,492342	14,3214396	
	1	0,8	2,5	14,7105	16,6719	0,56047005	0,63519939	9,786333333	6,4998	5,484946733	4,128669	19,833523	16,1554751	
	1,3	1	3	16,6719	19,614	0,63519939	0,7472934	9,158333333	5,6834	5,817367747	4,24716731	23,320352	17,5538648	
	1,4	1,2	3,5	20,5947	22,5561	0,78465807	0,85938741	8,310533333	5,0554	6,520927046	4,34454711	24,733706	18,0576841	
	1,7	1,4	4	22,5561	25,4982	0,85938741	0,97148142	7,797666667	4,1134	6,701216561	3,99609167	27,72503	18,4717139	
	2	1,6	4,5	24,5175	28,4403	0,93411675	1,08357543	7,358066667	3,160933333	6,873293321	3,4251097	28,491567	16,9901857	
0,0384 m3/s	2,3	1,8	5	26,4789	31,3824	1,00884609	1,19566944	6,949866667	2,239866667	7,011345813	2,67814012	29,223186	14,5625412	23,52
	2,5	2	5,5	29,421	34,3245	1,1209401	1,30776345	6,332333333	1,590933333	7,098166636	2,08056446	29,810144	11,3866502	
	2,8	2,2	6	31,3824	37,2666	1,19566944	1,41985746	5,9032	0	7,058275838	0	30,179279	8,84593735	
	3,1	2,4	6,5	33,3438	0	1,27039878	0	5,264733333	0	6,688310804	0	30,009676	0	
	3,4	2,6	7	35,3052	0	1,34512812	0	4,626266667	0	6,222921384	0	28,436696	0	
	3,7	2,8	7,5	37,2666	0	1,41985746	0	4,123866667	0	5,855302851	0	26,457999	0	
	4	0	8	39,228	0	1,4945868	0	3,5796	0	5,350022909	0	24,894995	0	
	4,3	0	8,5	41,1894	0	1,56931614	0	2,742266667	0	4,30348334	0	22,746696	0	
	4,6	0	9	43,1508	0	1,64404548	0	1,800266667	0	2,959720276	0	18,297123	0	
	5	0	9,5	44,1315	0	1,68141015	0	0	0	0	0	12,583845	0	

BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Kabupaten Lamongan 25 Februari 1999, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Jenjang pendidikan yang pernah ditempuh adalah TK Muslimat NU Soko, SD Negeri Soko, SMP Negeri 2 Lamongan, SMA Negeri 2 Lamongan. Setelah lulus dari SMAN pada tahun 2017, penulis mengikuti ujian tes masuk Vokasi ITS dan dinyatakan diterima sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi ITS Surabaya dengan NRP. 10211710010006.

Di Departemen Teknik Mesin Industri, penulis mengambil Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi dan mengambil tugas akhir mengenai energi terbarukan.

Selain itu penulis juga sempat aktif dalam berorganisasi dan berkegiatan yang diselenggarakan oleh Kampus, diantaranya Pelatihan LKMM Pra TD & LKMM TD XI HMDM FV – ITS, Wakil Koordinator Perlengkapan Service Gratis 2019, Wakil Direktur BSO Jundullah HMDM ITS periode 2019-2019. Kabiro Kampung binaan Departemen Hublu HMDM FV ITS periode 2019 – 2020.