

**PENGARUH VARIASI DEBIT AIR DAN JUMLAH SUDU  
TERHADAP DAYA, TORSI SERTA EFISIENSI PADA  
TURBIN VORTEX**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu (S1)  
Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Ponorogo



NIM. 17511117

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONOROGO  
2024**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### SKRIPSI

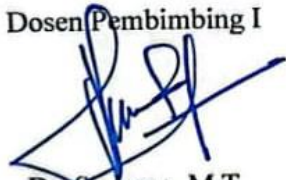
Nama : Bagus Romadhoni  
NIM : 17511117  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Judul Proposal Skripsi : Pengaruh Variasi Debit Air dan Jumlah Sudu  
terhadap Daya, Torsi serta Efisiensi pada Turbin  
Vortex

Isi dan formatnya telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat  
Untuk mengikuti ujian proposal skripsi  
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Ponorogo

Ponorogo, ..... 2024

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

  
Dr. Sudarno, M.T.  
NIK. 19680705 199904 11

Dosen Pembimbing II

  
Yoyok Winardi, S.T., M.T.  
NIK. 19860803 201909 13

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

  
  
Edy Kurniawan, S.T., M.T.  
NIK. 19771026 200810 12

Ketua Program Studi Teknik Mesin

  
Yoyok Winardi, S.T., M.T.  
NIK. 19860803 201909 13

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bagus Romadhoni

NIM : 17511117

Progam Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul: “Pengaruh Variasi Debit Air dan Jumlah Sudu Terhadap Daya, Torsi serta Efisiensi Pada Turbin Vortex”. bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang saya teliti di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiatisme, saya bersedia ljasah saya dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Ponorogo, Juni 2024

Mahasiswa,



Bagus Romadhoni  
NIM. 17511117

## HALAMAN BERITA ACARA UJIAN

Nama : Bagus Romadhoni  
NIM : 17511117  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Judul Proposal Skripsi : Pengaruh Variasi Debit Air dan Jumlah Sudu  
terhadap Daya, Torsi serta Efisiensi pada Turbin  
Vortex

Telah diuji dan dipertahankan dihadapan

Dosen penguji tugas akhir jenjang Strata Satu (S1) pada :

Hari : Rabu  
Tanggal : 13 Agustus 2024  
Nilai :

Ketua Penguji

Dosen Penguji,  
Dosen Penguji I

Dosen Penguji II



Dr. Sudarno, M.T.  
NIK. 19680705 199904 11



Wawan Trisnadi P., S.T., M.T., Ph.D.  
NIK. 19800220 202109 12



Rizal Arifin, S.Si., M.Si., Ph.D.  
NIK. 19870920 201204 12

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Pety Kurniawan, S.T., M.T.  
NIK. 19771026 200810 12



Yoyok Winardi, S.T., M.T.  
NIK. 19860803 201909 13

## BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

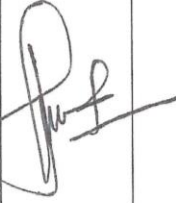
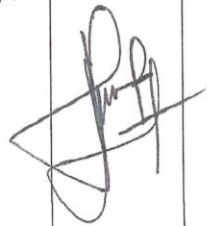
Nama : Bagus Romadhoni

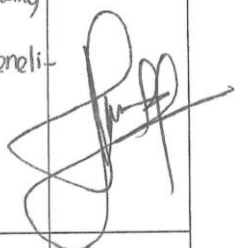
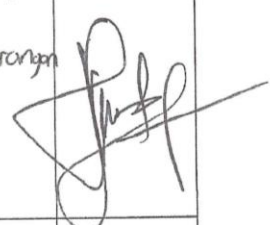
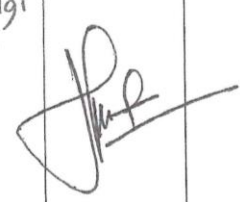
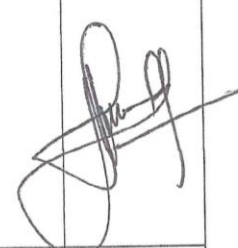
NIM : 17511117

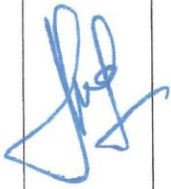
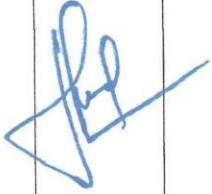
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya, Torsi Dan Efisiensi Pada Turbin Vortex

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Sudarno M.T.

### PROSES PEMBIMBINGAN

| No | Tanggal    | Materi Yang Dikonsultasikan                     | Saran Pembimbing / Hasil                                                                                                         | Tanda Tangan                                                                          |
|----|------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 06/02/2023 | - Tema, Judul<br>- Observasi Jurnal dan Artikel | - Lebih diperbanyak membaca jurnal yang ada kaitanya<br>- Mencatat hal-hal penting<br>- Memperkuat dengan penelitian sebelumnya. |   |
| 2  | 14/02/2023 | - Latar Belakang                                | - Alur Latar belakang<br>- Memperkuat dengan keterangan Jurnal                                                                   |  |
| 3  | 08/03/2023 | - Latar Belakang                                | - Penulisan sesuai buku panduan<br>- Lebih banyak memuat jurnal Pendukung.                                                       |  |
| 4  | 03/05/2023 | - Latar Belakang                                | - ada beberapa penulisan yang kurang<br>- di tambah perbendaharaan jurnal yang mendukung.                                        |  |

| No | Tanggal    | Materi Yang Dikonsultasikan            | Saran Pembimbing / Hasil                                                                                                        | Tanda Tangan                                                                          |
|----|------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | 08/05/2023 | - Bab I<br>Batasan Masalah             | - Lebih terfokus ke masalah yang sedang diteliti<br>- di berikan alamat pendukung dari penelitian sebelumnya<br>- Lanjut bab II |    |
| 6  | 23/05/2023 | - Bab II Sumber Penelitian Sebelumnya  | - di berikan hasil-hasil dari penelitian sebelumnya                                                                             |    |
| 7  | 06/06/2023 | - Bab II Parameter Kerja Turbin        | - Pada rumus-rumus di kotak bukan dari foto<br>- Rumus yang di patai di sertai keterangan<br>- Lanjut bab III                   |   |
| 8  | 13/09/2023 | - Bab III Metode Penelitian dan Gambar | - Penulisan Penomoran diperbaiki lagi<br>- Pada gambar di sertai narasi yang menjelaskan gambar tersebut.                       |  |
| 9  | 15/09/2023 | Acc Sampre                             | -                                                                                                                               |  |
| 10 | 24/06/2024 | - Bab IV Pengambilan Data              | - Data di tulis sesuai yang di ambil,<br>- di lakukan beberapa kali jangan hanya 2 kali saja.                                   |  |

| No | Tanggal       | Materi Yang Dikonsultasikan                 | Saran Pembimbing / Hasil                                            | Tanda Tangan                                                                          |
|----|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | 1/07<br>2024  | Bab <u>IV</u><br>Konsul penyusunan<br>Data  | - melanjutkan ke penghitungan<br>Data<br>- Data dimasukkan ke tabel |    |
| 12 | 10/07<br>2024 | Bab <u>IV</u><br>Konsul Perhitungan<br>Data | - Perhitungan Data berdasarkan<br>ke bab II                         |    |
| 13 | 23/07<br>2024 | Bab <u>IV</u><br>Konsul Revisi<br>Bab IV    | - Hasil Diserahi Tabel dan<br>Grafik hasil penghitungan             |   |
| 14 | 31/07<br>2024 | Bab <u>IV</u><br>Konsul Grafik<br>dan Tabel | - Lanjut ke Bab VI                                                  |  |
| 15 | 5/08<br>2024  | Bab <u>V</u><br>Konsul kesim<br>Pulan       | -                                                                   |  |
| 16 | 6/08<br>2024  | Acc Sidang                                  | -                                                                   |  |

## BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

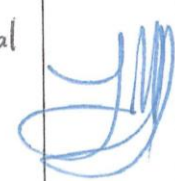
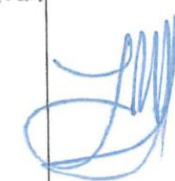
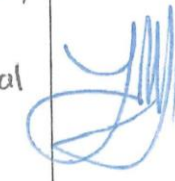
Nama : Bagus Romadhoni

NIM : 175 111 17

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Torsi, Dan Efisiensi Pada Turbin Vortex

Dosen Pembimbing II : Yoyok Winardi, S.T., M.T.

### PROSES PEMBIMBINGAN

| No | Tanggal    | Materi Yang Dikonsultasikan                     | Saran Pembimbing / Hasil                                                                                                                   | Tanda Tangan                                                                          |
|----|------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 07/02/2023 | - Tema, Judul<br>- Observasi Jurnal dan Artikel | - lebih banyak untuk membaca jurnal yang terkait<br>- mencatat hal-hal penting yang berkaitan<br>- memperkuat dengan penelitian sebelumnya |   |
| 2  | 14/02/2023 | - Bab I<br>Latar Belakang                       | - Alur latar Belakang<br>- Disertai keterangan dari jurnal                                                                                 |  |
| 3  | 08/03/2023 | - Bab I<br>Latar Belakang                       | - Penulisan di sesuaikan Buku Panduan<br>- Lebih banyak jurnal yang di cantumkan                                                           |  |
| 4  | 09/05/2023 | - Bab I<br>Latar Belakang                       | - ada beberapa penulisan yang kurang benar<br>- ditambah perbendaharaan jurnal                                                             |  |

| No | Tanggal    | Materi Yang Dikonsultasikan                 | Saran Pembimbing / Hasil                                                                                                                             | Tanda Tangan                                                                          |
|----|------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | 08/05/2023 | -Bab I<br>Batasan Masalah                   | - Lebih terfokus pada permasalahan yang terkait dengan yang di teliti<br>- di berikan alamat pendukung dari penelitian sebelumnya<br>- Lanjut Bab II |    |
| 6  | 24/05/2023 | -Bab II<br>sumber dan Penelitian sebelumnya | - Diberikan hasil - hasil dari penelitian Sebelumnya                                                                                                 |    |
| 7  | 06/06/2023 | -Bab II<br>Parameter kerja Turbin           | - Pada rumus - rumus di tulis bukan memakai foto<br>- Rumus yang di pakai di sertai keterangan<br>- Lanjut Bab III                                   |   |
| 8  | 13/09/2023 | - Bab III<br>Metode Penelitian dan Gambar   | - Penulisan Penomoran di perbaiki Lagi<br>- Pada gambar di sertai dengan narasi yang menjelaskan gambar tersebut                                     |  |
| 9  | 15/09/2023 | Acc Sampro                                  | -                                                                                                                                                    |  |
| 10 | 26/06/2024 | Bab IV<br>Pengambilan Data                  | - Di lakukan pengambilan data yang hanya Sekali atau 2x saja                                                                                         |  |

| No | Tanggal    | Materi Yang Dikonsultasikan                              | Saran Pembimbing / Hasil                                          | Tanda Tangan                                                                          |
|----|------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | 03/07/2024 | Bab <u>IV</u><br>Konsul penyusunan<br>Data               | - Data yang ada selanjutnya di olah untuk mengetahui yang di cari |    |
| 12 | 10/07/2024 | Bab <u>V</u><br>Konsul perhitungan<br>Data yang di ambil | - Perhitungan di ambil dari bab II                                |    |
| 13 | 24/07/2024 | Bab <u>IV</u><br>Konsul Revisi<br>Bab <u>III</u>         | - Tabel Di rapikan lagi<br>- Penulisan dibenarkan                 |   |
| 14 | 31/07/2024 | Bab <u>V</u><br>Konsul Revisi dan Grafik                 | - lanjut kebab V                                                  |  |
| 15 | 5/08/2024  | Bab <u>VI</u><br>Penutup / Kesimpulan                    | -                                                                 |  |
| 16 | 6/08/2024  | Acc Sidang                                               | -                                                                 |  |

# **PENGARUH VARIASI DEBIT AIR DAN JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA, TORSI SERTA EFISIENSI PADA TURBIN VORTEX**

Bagus Romadhoni

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah

Ponorogo

e-mail : [bagusromadhoni0122@gmail.com](mailto:bagusromadhoni0122@gmail.com)

---

## **Abstrak**

Pengembangan sumber energi sangatlah penting dilakukan, seperti energi angin, energi surya, dan sebagainya. Proyek ini bertujuan memasukkan energi listrik ke daerah terpencil dengan memanfaatkan potensi yang ada di suatu wilayah tersebut. Karena sumber energi saat ini masih terpaku terhadap pemanfaatan sumber energi fosil yang semakin habis. Sehingga banyak ilmuwan yang bereksperimen menciptakan pemanfaatan energi air dimana energi tersebut sangat melimpah di Indonesia. Sudah banyak tercipta jenis turbin air, seperti di Jerman mengembangkan teknologi listrik menggunakan aliran vortex air dengan prinsip kerja fluida yang mengalir kemudian mengalami perubahan mendadak dan menciptakan pusaran yang mendorong sudu untuk bergerak. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui daya torsi, dan efisiensi turbin vortex dengan melakukan variasi debit air dan jumlah sudu 4,5,6,7. Metode penelitian ini adalah metode pendekatan kuantitatif dengan bentuk penelitian eksperimen. Data pengujian dengan sudut kemiringan tetap  $41^\circ$  didapatkan pengaruh variasi debit air dan jumlah sudu terhadap kinerja turbin dengan variabel head, debit, massa sudu, dan vortisitas. Dari penelitian diketahui bahwa ketika jumlah sudu meningkat, kinerja turbin akan rusak karena pusaran yang berfungsi untuk memutar turbin mengalami momen inersia yang lebih besar. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa untuk menghasilkan daya maksimum pada turbin vortex maka jumlah sudu yang digunakan adalah 4 dan koefisien daya sebesar 30,095% saat debit air 7,8 liter/detik. Maka semakin banyak jumlah sudu hanya cenderung menghilangkan arus vortex pada conical basin. Sehingga pada variasi sudu daya yang dihasilkan oleh turbin mengalami penurunan.

**Kata kunci : Turbin Vortex, Variasi Debit Air dan Jumlah Sudu, Pengaruh Debit Air dan Jumlah Sudu**

# **PENGARUH VARIASI DEBIT AIR DAN JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA, TORSI SERTA EFISIENSI PADA TURBIN VORTEX**

Bagus Romadhoni

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Ponorogo

e-mail : [bagusromadhoni0122@gmail.com](mailto:bagusromadhoni0122@gmail.com)

---

## **Abstrak**

*The development of energy sources is very important, such as wind energy, solar energy, and so on. This project aims to introduce electrical energy to remote areas by utilizing the potential in a region. Because current energy sources are still focused on the use of fossil energy sources that are increasingly depleted. So many scientists are experimenting with creating the use of water energy where this energy is very abundant in Indonesia. Many types of water turbines have been created, such as in Germany developing electrical technology using water vortex flow with the working principle of fluids that flow then experience sudden changes and create vortices that push the blades to move. The purpose of this study was to determine the torque power, and efficiency of the vortex turbine by varying the water discharge and the number of blades 4,5,6,7. This research method is a quantitative approach method with the form of experimental research. Test data with a fixed inclination angle of 41 ° obtained the effect of variations in water discharge and the number of blades on turbine performance with variables of head, discharge, blade mass, and vorticity. From the study it is known that when the number of blades increases, the performance of the turbine will be damaged because the vortex that functions to rotate the turbine experiences a greater moment of inertia. The results of the study also show that to produce maximum power on the vortex turbine, the number of blades used is 4 and the power coefficient is 30.095% when the water discharge is 7.8 liters/second. So the more the number of blades only tends to eliminate the vortex current in the conical basin. So that the variation of the blades the power produced by the turbine decreases.*

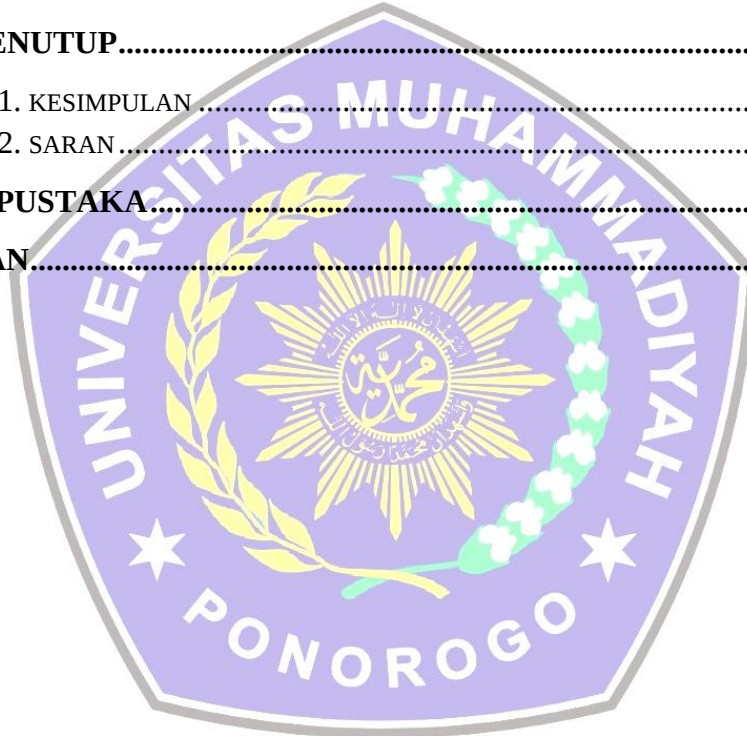
**Keywords: Vortex Turbine, Variation of Water Flow and Number of Blades, Effect of Water Flow and Number of Blades**

---

## DAFTAR ISI

|                                                      |             |
|------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>                     | <b>II</b>   |
| <b>PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>                 | <b>III</b>  |
| <b>HALAMAN BERITA ACARA.....</b>                     | <b>IV</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                 | <b>XI</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                               | <b>XIII</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                            | <b>XV</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                         | <b>XVI</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                        | <b>1</b>    |
| 1.1 LATAR BELAKANG .....                             | 1           |
| 1.2 RUMUSAN MASALAH .....                            | 3           |
| 1.3 TUJUAN PENELITIAN .....                          | 3           |
| 1.4 BATASAN MASALAH .....                            | 3           |
| 1.5 MANFAAT PENELITIAN.....                          | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                 | <b>1</b>    |
| 2.1 PENELITIAN SEBELUMNYA.....                       | 1           |
| 2.2 TURBIN VORTEX .....                              | 3           |
| 2.2.1 Kelebihan Turbin Vortex .....                  | 4           |
| 2.2.2 Klasifikasi Turbin Vortex .....                | 5           |
| 2.2.3 Komponen - Komponen Utama Turbin Vortex .....  | 5           |
| 2.3 PRINSIP DASAR DAN CARA KERJA TURBIN VORTEX ..... | 6           |
| 2.3.1 Prinsip Dasar .....                            | 6           |
| 2.3.2 Cara Kerja Turbin Vortex .....                 | 7           |
| 2.3.3 Parameter Kinerja Turbin.....                  | 7           |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>                | <b>10</b>   |
| 3.1 METODE PENELITIAN .....                          | 10          |
| 3.2 TEMPAT PELAKSANAAN .....                         | 11          |
| 3.3 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN .....                  | 11          |
| 3.3.1 Alat.....                                      | 11          |
| 3.3.2 Bahan Penelitian .....                         | 13          |
| 3.4 DESAIN VARIAN SUDU TURBIN VORTEX .....           | 14          |
| 3.4.1 Skema Desain Turbin Vortex.....                | 14          |

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 3.4.2 Contoh Desain Sudu.....                 | 14        |
| 3.5 PROSEDUR PEMBUATAN.....                   | 15        |
| 3.5.1 Pembuatan Desain dan Bentuk Sudu .....  | 15        |
| 3.5.2 Manufaktur Desain dan Bentuk Sudu ..... | 15        |
| 3.6 PROSEDUR PENELITIAN .....                 | 15        |
| 3.7 METODE ANALISIS DATA.....                 | 16        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>      | <b>17</b> |
| 4.1. HASIL PERANCANGAN DAN PEMBUATAN .....    | 17        |
| 4.2. HASIL PENELITIAN .....                   | 17        |
| 4.3. PENGOLAHAN DATA DAN PERHITUNGAN.....     | 20        |
| 4.4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....               | 23        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>                     | <b>27</b> |
| 5.1. KESIMPULAN .....                         | 27        |
| 5.2. SARAN.....                               | 27        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                    | <b>28</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                          | <b>31</b> |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Grafik Hubungan Antara Putaran dengan Debit Air [8].....        | 1  |
| <b>Gambar 2. 2</b> Grafik Hubungan Antara Torsi dengan Debit Air [8] .....         | 1  |
| <b>Gambar 2. 3</b> Desain Turbin Vortex [8] .....                                  | 2  |
| <b>Gambar 2. 4</b> Grafik Hubungan Antara Daya dengan Jumlah Sudu [8].....         | 2  |
| <b>Gambar 2. 5</b> Grafik Efisiensi Turbin [8] .....                               | 3  |
| <b>Gambar 2. 6</b> Turbin Vortex .....                                             | 4  |
| <b>Gambar 2. 7</b> Klasifikasi Vortex Berdasarkan Kekuatannya.....                 | 5  |
| <b>Gambar 3. 1</b> Pompa .....                                                     | 11 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Flowmeter .....                                                 | 12 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Tachometer .....                                                | 12 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Mistar Baja .....                                               | 13 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Jangka Sorong .....                                             | 13 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Skema Desain Turbin .....                                       | 14 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Desain Turbin .....                                             | 15 |
| <b>Gambar 3. 8</b> Desain Turbin .....                                             | 15 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Grafik Perbandingan Antara Daya Turbin terhadap Debit Air.....  | 23 |
| <b>Gambar 4. 2</b> Grafik Perbandingan Antara Torsi Turbin terhadap Debit Air..... | 24 |
| <b>Gambar 4. 3</b> Grafik Perbandingan CP terhadap Debit Air .....                 | 24 |
| <b>Gambar 4. 4</b> Hubungan Antara Putaran dengan Jumlah Sudu .....                | 25 |
| <b>Gambar 4. 5</b> Hubungan Antara Torsi dengan Jumlah Sudu .....                  | 25 |
| <b>Gambar 4. 6</b> Hubungan Antara Daya Turbin dengan Jumlah Sudu .....            | 25 |

## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Desain Turbin

**Lampiran 2.** Pembuatan Rancang Bangun

**Lampiran 3.** Proses Pengambilan Data



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Setiap negara atau wilayah perlu mengembangkan sumber energi seperti energi angin, tenaga air, energi matahari, dan biogas. Tujuan proyek ini adalah untuk memasukkan listrik ke daerah terpencil, memanfaatkan potensinya untuk kebaikan masyarakat. Namun, karena penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan di seluruh dunia, energi semakin berkurang [1]. Polusi udara, gas rumah kaca atau polusi, dan pemanasan global mendorong penelitian tentang sumber tenaga yang lebih ramah lingkungan. Para Ilmuwan di beberapa negara di dunia sadar akan hal ini dan sedang menguji berbagai jenis energi alternatif [2]. Sumber tenaga arus yang paling penting dan sering mendapatkan perhatian adalah arus air. Sebagai negara dengan mayoritas masyarakatnya bekerja sebagai petani dan juga sebagai negara tropis yang selalu menghaasilkan dan membutuhkan air, pemanfaatan turbin air akan lebih disukai daripada pemanfaatan turbin angin, meskipun angin di Indonesia cukup stabil [2]. Masa jenis pada air memiliki 1000 kali massa jenis pada udara, yang menghasilkan torsi dan gaya yang lebih besar pada turbin.

Salah satu opsi untuk menggunakan sumber energi terbarukan saat ini adalah pembangkit listrik tenaga air. Namun, penggunaan ini masih pada skala yang kecil serta masih memanfaatkan teknologi biasa dan sederhana, sehingga pembangkit tersebut hanya akan menghasilkan jumlah energi listrik yang diharapkan [3]. Pembangkit listrik tenaga air jenis ini biasanya disebut sebagai *Microhydro* atau *Picohydro* yang bergantung pada jumlah listrik yang dihasilkan oleh generator [2]. Head jatuh yang besar pada air terjun biasanya digunakan sebagai pembuatan *Microhydro* atau *Picohydro*. Sementara head kecil pada aliran air sungai tidak digunakan dengan baik. Metode ini mengubah aliran sungai menjadi aliran pusaran. Turbin vortex merupakan suatu jenis turbin yang memiliki beberapa keefisienan, dan dapat digunakan di tempat-tempat terpencil dengan aliran sungai yang relatif kecil tetapi sangat deras [2].

Peneliti Jerman Viktor Schaubberger menyebarkan teknologi (PLTA) atau Pembangkit Listrik Tenaga Air melalui penggunaan sirkulasi *vortex* air. sirkulasi *vortex* bisa terjadi di fluida yang mengalir pada suatu saluran dan akan terjadi perubahan yang tiba-tiba atau mendadak. Penelitian Viktor Schaubberger, pemanfaatan aliran pada irigasi diganti sebagai aliran *vortex*, lalu dipergunakan untuk menggerakkan sudu turbin [4]. Franz Zotteloter, seorang peneliti Austria, kemudian mengembangkan teknologi ini. Penelitian Franz tersebut dimulai tahun 2004 dengan pemasangan turbin pertamanya berjudul “*Gravitational water vortex power plant*” di Obergrafendorf, Austria pada tahun 2005, dan berlanjut hingga tahun 2013 di negara-negara seperti Jerman, Republik Ceko, Hungaria, dan Chile, serta Thailand, Irlandia, Indonesia, Jepang, Prancis, Italia, dan Swiss [5].

Mengalami peningkatan di data yang diukur juga dihitung sesudah turbin diganti dengan besar jumlah sudu dengan lebih banyak yakni berjumlah 9 sudu [6]. Parameter output yang dihasilkan dengan memanfaatkan pengaturan tersebut merupakan putaran turbin sebelum dikopel generator sebanyak 303,8 rpm, putaran turbin sesudah dikopel generator sebanyak 230.5 rpm, putaran generator sebanyak 653.5 rpm, tegangan sebesar 8.29 Volt, arus sebesar 0.046 Ampere, daya generator sebesar 0.387 Watt [6]. Pada penelitian lainnya yang menggunakan turbin *vortex* pada pembangkit listrik tenaga *microhydro* ditemukan hasil bahwa didapatkan efisiensi tertinggi dengan besar efisiensi adalah 64% dimiliki oleh jumlah sudu 9 [7]. Sedangkan efisiensi tertinggi terjadi pada 10 sudu pada volume aliran 0,008 m<sup>3</sup>/s dan efisiensi terendah pada 7 sudu pada volume aliran 0,008 m<sup>3</sup>/s [8]. Dikarenakan ketika kapasitas air bertambah maka ketinggian pusaran yang dihasilkan juga bertambah, yaitu nilai kolom air bertambah, sehingga nilai energi air yang dihasilkan bertambah [8].

Penelitian sebelumnya menemukan bahwa beberapa komponen mempengaruhi efisiensi kerja turbin air, menyebabkan kinerja turbin menjadi kurang efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah di *calculate* dan diukur setelah penggantian turbin dengan jumlah sudu yang lebih besar maka kinerja turbin pada data akan meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh area

turbin yang didorong oleh air menjadi semakin besar bersama dengan banyaknya sudu yang diberikan pada turbin *vortex* lebih banyak. Penulis memiliki gagasan untuk memvariasikan jumlah sudu terhadap turbin agar performa yang didapatkan turbin air semakin tinggi. Maka dari itu penelitian yang berjudul “PENGARUH VARIASI DEBIT AIR DAN JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA, TORSI SERTA EFISIENSI PADA TURBIN VORTEX” ini bertujuan untuk menentukan kinerja turbin terbaik berdasarkan pengaruh variasi jumlah sudu terhadap performa turbin vortex.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana variasi jumlah debit air dan jumlah sudu berdampak pada daya, torsi, dan efisiensi turbin vortex merupakan rumusan masalah dari latar belakang tersebut.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Terdapat tujuan utama dari penelitian yang akan dilakukan ini. Dimana tujuan utamanya adalah untuk bisa mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jumlah debit air dan jumlah sudu terhadap kinerja turbin vortex, termasuk daya, torsi, dan efisiensi turbin optimal.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun yang menjadi batasan masalah dari penelitian tersebut yakni :

- a. Penelitian ini difokuskan terhadap percobaan atau pengambilan data terhadap variasi debit air dan jumlah sudu pada turbin air yang dapat menghasilkan kecepatan putar, koefisien torsi, dan efisiensi turbin air yang optimal.
- b. Semua data diambil dari rancang bangun miniatur mesin turbin air yang dirancang dengan turbin jenis vortex yang memiliki 3 bukaan katup debit air dan 4 varian sudu.
- c. Kemiringan sudu  $41^\circ$  (Sudut pada sudu turbin memiliki kemiringan yang optimal dan berpengaruh pada kenaikan daya di turbin reaksi vortex) [8] dan waktu perhitungan sebanyak 6 kali pengulangan pada 1 kali percobaan
- d. Variasi pada jumlah sudu yang dilakukan yaitu 4,5,6,7, [8]
- e. Variasi pada debit air yaitu  $1/2$  ,  $3/4$ , dan *full*

- f. Pengambilan data dilakukan di labortorium yang memiliki aliran fluida tetap.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini diharapkan bisa menghasilkan dampak serta nilai yang baik untuk penulis dan peneliti, serta pihak lain. Adapun beberapa manfaat dari penulisan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Manfaat untuk Masyarakat

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan masyarakat mendapatkan gambaran pengetahuan dan informasi yang jelas dan terukur tentang pengaruh debit air dan variasi jumlah sudu terhadap bagaimana daya, torsi serta efisiensi kerja pada turbin *vortex*.

2. Manfaat untuk Akademis

Tulisan ini diharapkan bisa menyalurkan dan memberikan informasi tambahan yang relevan dan sebagai referensi untuk dilakukan penelitian selanjutnya tentang kinerja turbin *vortex* pada variasi debit air dan jumlah sudu.

3. Manfaat untuk Pemerintah

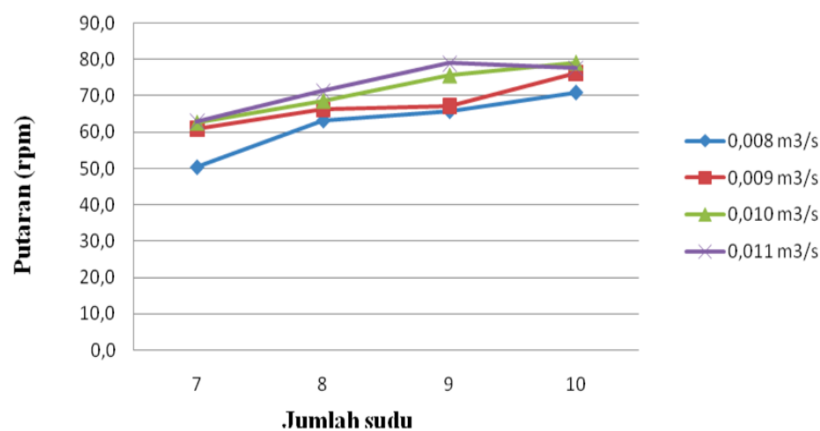
Harapan bagi pemerintah dari penelitian ini yaitu melalui perbaikan dan evaluasi material yang berkaitan dengan turbin air, sehingga memungkinkan terwujudnya pembangkit energi terbarukan di seluruh Indonesia.

## BAB II

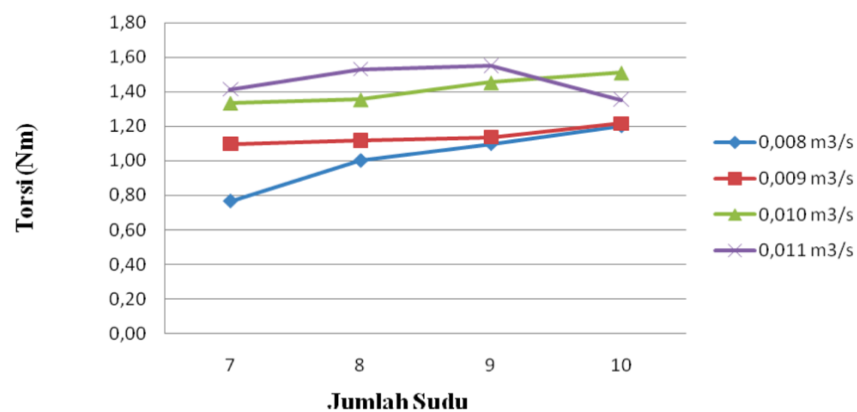
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Komponen penting bagi pembangkit listrik adalah adanya turbin. Dalam penelitian sebelumnya menggunakan turbin *vortex*. Turbin *vortex* merupakan salah satu turbin dengan jenis turbin mikrohidro yang bekerja dengan memanfaatkan pusaran air untuk menggerakkan sudu pada turbinnya [3].



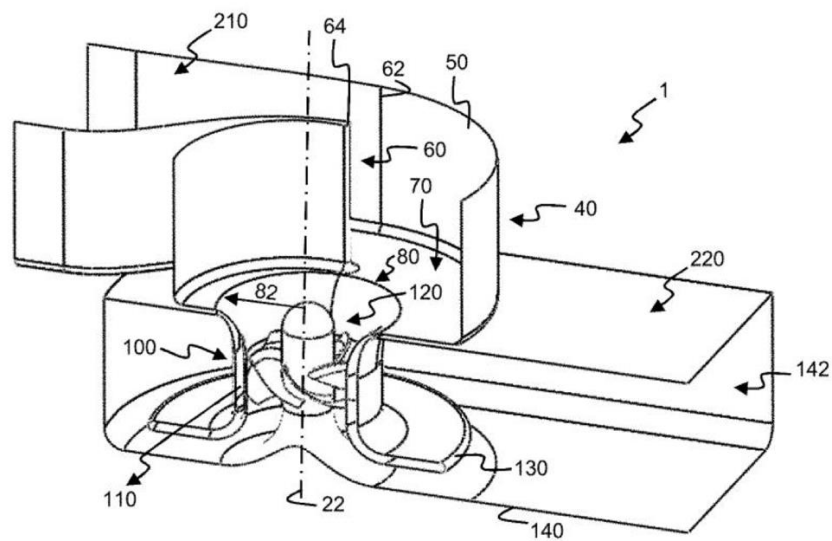
**Gambar 2. 1** Grafik Hubungan Antara Putaran dengan Debit Air [8]



**Gambar 2. 2** Grafik Hubungan Antara Torsi dengan Debit Air [8]

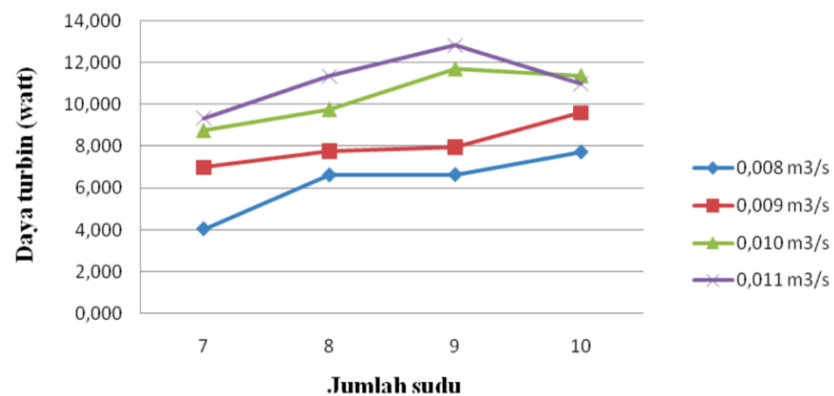
Dapat dilihat dari gambar grafik 2.1 dan 2.2 bahwa semakin banyak jumlah sudu maka kecepatan setiap debit aliran semakin tinggi, namun ketika jumlah sudu 10 maka berkurang pada laju aliran 0,011 m³/s, yang disebabkan oleh bertambahnya jumlah sudu menyebabkan massa sudu turbin bertambah,

10 semakin berat, dan debit aliran yang semakin besar, sehingga volume air di bak tetap konstan. meningkat, sehingga badan turbin benar-benar terendam, menghasilkan putaran yang berat dari 10 sudu yang berputar. Demikian juga, dengan bertambahnya jumlah sudu, maka nilai torsi akan meningkat untuk setiap peningkatan aliran [8].

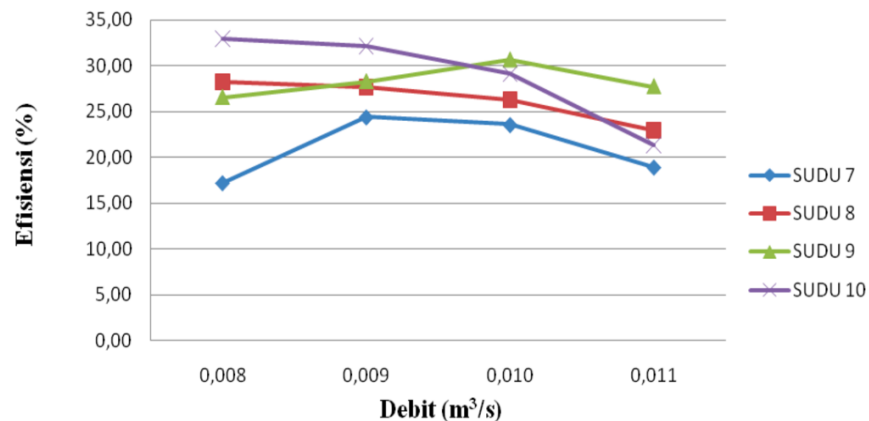


**Gambar 2. 3** Desain Turbin Vortex [8]

Gambar di atas merupakan desain atau bentuk turbin vortex dengan jumlah sudu yang berbeda yaitu 7, 8, 9 dan 10 oleh Tri Rachmanto dkk [8]. Jumlah sudu dalam pemodelan mikrohidro sangat mempengaruhi daya, torsi dan efisiensi menurut Tri Rachmanto dkk [8].



**Gambar 2. 4** Grafik Hubungan Antara Daya dengan Jumlah Sudu [8]



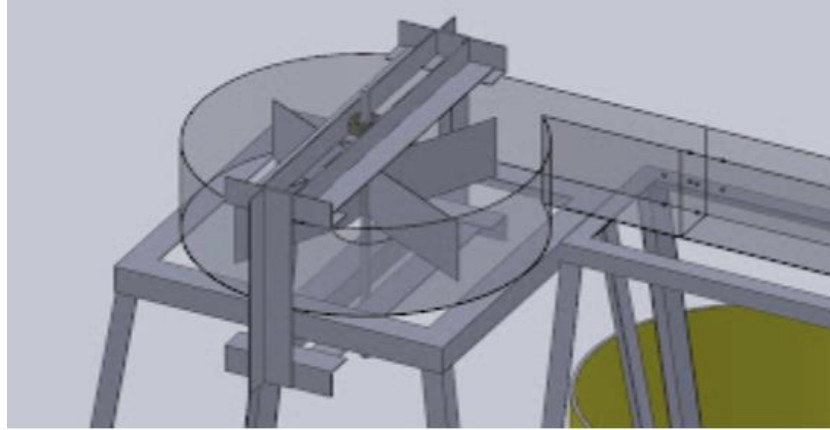
**Gambar 2. 5** Grafik Efisiensi Turbin [8]

Untuk daya turbin itu sendiri, semakin besar laju alir dan jumlah sudu semakin besar maka nilai daya akan meningkat pada Gambar grafik 2.4 dan Gambar 2.5, karena nilai kecepatan bertambah, dan nilai torsi juga meningkat. Pada saat jumlah sudu 10, nilai daya akan berkurang karena kecepatan dan torsi turbin kecil pada laju aliran  $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ . Efisiensi pada sudu 10 adalah yang paling tinggi pada  $\text{m}^3/\text{s}$ , dan efisiensi pada sudu 7 paling rendah pada kecepatan  $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hal ini karena dengan bertambahnya volume air, ketinggian pusaran yang terbentuk juga semakin tinggi, sehingga nilai head dan nilai hidroliknya juga meningkat [8].

## 2.2 Turbin Vortex

Turbin tersebut diberi nama *Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP)* oleh penemunya yaitu Frans, yang merupakan warga negara Austria, namun nama dari turbin ini juga dikenal sebagai turbin *Vortex* atau turbin pusaran [10]. Seperti nama tersebut yaitu *vortex*, jenis air ini memanfaatkan pusaran buatan untuk menggerakkan bilah turbin agar berputar, dimana kemudian mengubah energi pusaran menjadi energi rotasi yang ada pada poros. Selama proses ini, air sungai memasuki tangki turbin bundar melalui saluran masuk, dan terdapat saluran pembuangan melingkar kecil di tengah bagian bawah tangka [11]. Karena saluran limbah ini, air yang mengalir menciptakan aliran pusaran. Turbin membutuhkan ketinggian air (head) 0,7-2 m dan debitnya kurang lebih 1.000 liter per *second* [6]. Turbin *vortex* merupakan turbin yang memanfaatkan arus *vortex* untuk jembatan antara energi dengan sumbu vertikal

sebagai sumbu untuk menciptakan perbedaan tekanan antara sumbu dan media sekitarnya. Berikut Gambar 2.6 adalah gambar turbin vortex.



**Gambar 2. 6** Turbin Vortex

Massa fluida yang memiliki partikel yang bergerak dalam lingkaran dan memiliki arus yang membentuk lingkaran konsentris disebut vortex fluida [12]. Pusaran yang berputar diakibatkan karena adanya kecepatan yang berbeda antara lapisan fluida yang berdekatan. Ini dapat dijelaskan sebagai gerakan fluida alami yang disebabkan karena parameter pada kecepatan dan tekanan pada vortex sebagai pusaran. Penyebabnya adalah adanya efek rotasi yang dipengaruhi oleh viskositas [9]. Karakteristik pusaran bebas, kecepatan tangensial partikel fluida yang bergerak pada jarak tertentu dari pusat pusaran, memungkinkan aliran pusaran bebas juga terjadi tanpa gaya [10].

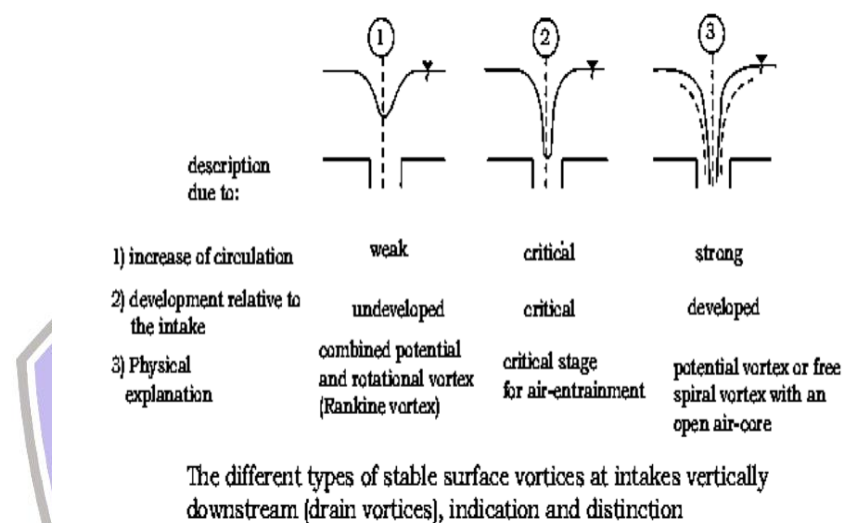
### **2.2.1 Kelebihan Turbin Vortex**

Turbin vortex memiliki beberapa kelebihan, antara lain konsepnya yang sederhana, biaya pemasangan relatif murah, pembangkitan tekanan rendah, aman bagi objek dan organisme di sekitar aliran, serta dapat dikembangkan untuk laju aliran tinggi namun head air rendah (0,7 m to 2 m) efisiensi sungai, hasil uji zotlöterer perusahaan lebih unggul dari berbagai jenis turbin lainnya [13]. Selain itu, turbin jenis ini juga dapat dikembangkan di daerah dengan head air yang rendah akan tetapi sumber airnya cukup. Turbin vortex memiliki sistem control yang lebih sederhana dan mudah diterapkan

dibandingkan dengan turbin jenis lain. Tekanan air tidak merusak ekosistem seperti organisme air (ikan) dan mikroorganisme lainnya [14].

### 2.2.2 Klasifikasi Turbin Vortex

Dalam klasifikasi turbin dengan melihat bentuk pusaran air, turbin ini memiliki tiga tipe kekuatan vortex seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2. 7** Klasifikasi Vortex Berdasarkan Kekuatannya

Secara umum, fenomena pada vortex terbagi menjadi 2 bagian [15], yaitu:

#### 1. Vortex Paksa / Vortex Berputar

Ada pusaran dimana diciptakan oleh gaya eksternal dan bekerja pada cairan.

#### 2. Vortex Bebas / Vortex Tidak Berputar

Jika pusaran yang dibentuk oleh fenomena alam tidak terpengaruh oleh gaya eksternal, sistem fluida berada dalam aliran yang tidak dapat dimampatkan, biasanya dibuat oleh saluran keluar.

### 2.2.3 Komponen - Komponen Utama Turbin Vortex

Adapun yang menjadi komponen-komponen utama dari turbin vortex yakni [5]:

## 1. Stator

Turbin memiliki stator yang memiliki 2 bagian yaitu cangkang atau *casing* dan *fixed blades*:

### a. Casing

Casing atau cangkang adalah tempat seperti tabung untuk menampung rotor dan rumah yang biasa dipasang pada bantalan. Casing ini memiliki fungsi sebagai penyangga rotor.

### b. Sudu tetap

Sudu adalah komponen pada turbin yang melakukan perubahan atau konversi energi. Sudu juga memiliki hub / leher dan ujung sudu yang dimana ketika disusun maka akan membentuk lingkaran yang penuh.

## 2. Rotor

Rotor adalah komponen berputar dan terdiri dari poros serta sudu yang bergerak di sekitar rotor [16].

### a. Poros

Gelombang yang berbentuk silinder dan panjang serta padat atau berongga.

### b. Sudu gerak

Sudu bergerak ialah beberapa jumlah sudu yang terpasang di sekitar rotor dengan bentuk cakram.

### c. Bantalan

Bantalan adalah penopang untuk rotor dan menahan rotor dengan kuat pada tempatnya di rumah. Fungsi dari bantalan yaitu berguna untuk mengurangi gesekan mekanis.

## 2.3 Prinsip Dasar dan Cara Kerja Turbin Vortex

### 2.3.1 Prinsip Dasar

Prinsip turbin vortex adalah bahwa air disalurkan ke dalam tangki sirkulasi dan memiliki lubang lingkaran di dasar tangki. Sehingga lubang pada dasar tangki memiliki tekanan dan kecepatan air yang

berada di titik masuk tangki akan memberikan pengaruh pada kekuatan aliran *vortex* [9]

### 2.3.2 Cara Kerja Turbin Vortex

Air sungai dialirkan ke tangki sirkulasi dengan lubang bundar di bagian bawah turbin yang memanfaatkan energi pusaran ini. Adanya tekanan rendah di dasaran tangki dengan lubang lingkaran serta kecepatan air yang masuk ke titik masuk mempengaruhi ukuran pusaran. Perubahan energi potensial pada inti pusaran menyebabkan energi kinetik rotasi, yang diekstrak oleh turbin sumbu vertikal. Setelah itu, lubang outlet juga membantu untuk mengalirkan air ke sungai [14].

### 2.3.3 Parameter Kinerja Turbin

Pada pengujian yang dilakukan oleh Tri Rachmanto, dkk (2020) diperoleh debit air menggunakan pompa yang putarannya divariasikan dengan mengatur frekuensi pada potensiometer sehingga menghasilkan debit air sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan. Setelah memiliki aliran sebagai variabel studi, dapat dilanjutkan dengan mengukur rotasi dan torsi [8] yang dihasilkan dengan rumus:

#### Perhitungan daya air:

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

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

$Q$  = Kapasitas air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$  = Head (m)

$P_a$  = Daya air (W)

Kemudian setelah menetapkan aliran air, dilanjutkan dengan mengukur torsi (T) yang dihasilkan oleh turbin dengan rumus:

#### Perhitungan Torsi:

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

F = Gaya (N)

r = Jari-jari poros (m)

Dilanjutkan dengan menghitung kecepatan sudut ( $\omega$ ) dengan rumus:

**Kecepatan Sudut:**

$$\omega = \frac{2 \times n \times \pi}{60} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

n = Putaran (rpm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

Adapun daya turbin dihitung dengan rumus:

**Daya Turbin:**

Pada umumnya, pada gerak melingkar memiliki rumus perhitungan daya adalah :

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots (4)$$

dimana dalam hal tersebut :

T: torsi dinamis, Nm

$\omega$  : kecepatan sudut, rad/s

Karena 1 Rpm =  $2 \pi$  Rad, maka besarnya kecepatan sudu ( $\omega$ ) pada turbin angin memiliki rumus sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots (4)$$

Maka berdasarkan persamaan (4) daya turbin memiliki besar yang dinyatakan dengan:

$$P_t = T \cdot \omega$$

$$P_t = T \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

$$P_t = \frac{T\pi n}{30} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana keterangannya yaitu:

$P_t$  : daya poros turbin angin, Watt

n : putaran poros setiap menit, Rpm

**Efisiensi Turbin:**

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

..... (7)

Dimana:

$P_t$  = Daya turbin(Watt)

$P_a$  = Daya air (watt)

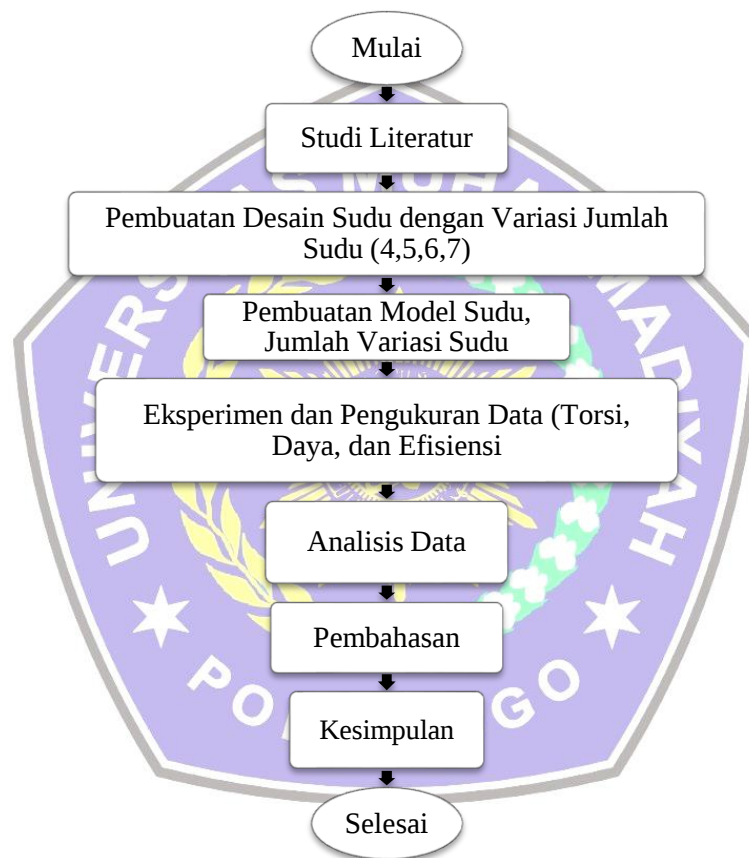


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini adalah model penelitian eksperimental. Adapaun diagram alir urutan pada penelitian yang secara umum dilakukan adalah sebagai berikut :



Data yang diperlukan dalam penelitian ini bisa didapatkan dengan 3 metode yaitu :

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Penelitian kepustakaan merupakan jenis penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan materi atau landasan teori yang sesuai berdasarkan judul tugas akhir, sehingga tugas akhir dapat terbantu dengan mencari

berbagai referensi dan literatur dan menjadi yakin akan kebenaran informasi tersebut.

## 2. Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan sebelum dilakukan penelitian. Adapun alat yang dibuat yaitu alat uji untuk turbin air *vortex* yang bervariasi, dibuat juga rangkaian alat pengujian sederhana beserta pompa air listrik sebagai sumber pembangkit air untuk memutar turbin.

## 3. Observasi atau pengamatan secara langsung

Observasi dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek yang diteliti yaitu turbin air *vortex* pada alat pengujian sederhana.

### 3.2 Tempat Pelaksanaan

Pendataan eksperimen untuk menguji variasi jumlah sudu pada turbin *vortex* akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat

Dalam melakukan percobaan ini terdapat alat yang diperlukan untuk mendukung prosedur pengujian untuk mendapatkan variabel penelitian yang diinginkan, antara lain:

#### 1. Pompa



**Gambar 3. 1** Pompa

- Merk : Yamamax Pro tipe DB-402
- Kapasitas : 417 L/min
- Daya maksimal : 1100 watt

- Daya hisap : 7 m
- Tinggi aliran : 15 m

## 2. Flowmeter



**Gambar 3. 2** Flowmeter

- Merk : Rotameter Flowmeter
- Kapasitas : 10-110 LPM/3 – 30 GPM
- Material : Plastik abs
- Material pelampung : Stainless steel
- Tekanan maksimum : 10 kg
- Suhu kerja maksimal : 65 °C
- Instalasi : Vertical
- Tinggi : 23 cm
- Dual skala : GPM dan LPM
- Media : Air, cairan kimia, likuid
- Ukuran : 2" drat dalam

## 3. Tachometer



**Gambar 3. 3** Tachometer

- Merk : Autonics MP5Y
- Layar : LED

- Maksimal kisaran tampilan : -19999 sampai 99999
- Pengukuran : 16 mode operasi
- Catu daya : 100-240V AC-50/60Hz

#### 4. Mistar Baja



**Gambar 3. 4** Mistar Baja

- Satuan : cm, dm, mm
- Panjang : 30 cm

#### 5. Jangka Sorong



**Gambar 3. 5** Jangka Sorong

- Panjang : 6 inch

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan selama penelitian :

#### 1. Sudu Turbin

Sudu adalah bagian yang digunakan untuk melakukan pengaturan pada jumlah aliran pada air yang masuk pada turbin.

#### 2. Poros

Fungsi poros adalah mentransfer putaran dari turbin untuk mengubahnya menjadi variabel yang diinginkan.

### 3. Stop Kran

Stop kran digunakan untuk air atau cairan yang hanya mengalir dalam satu arah dan dirancang untuk mencegah aliran balik.

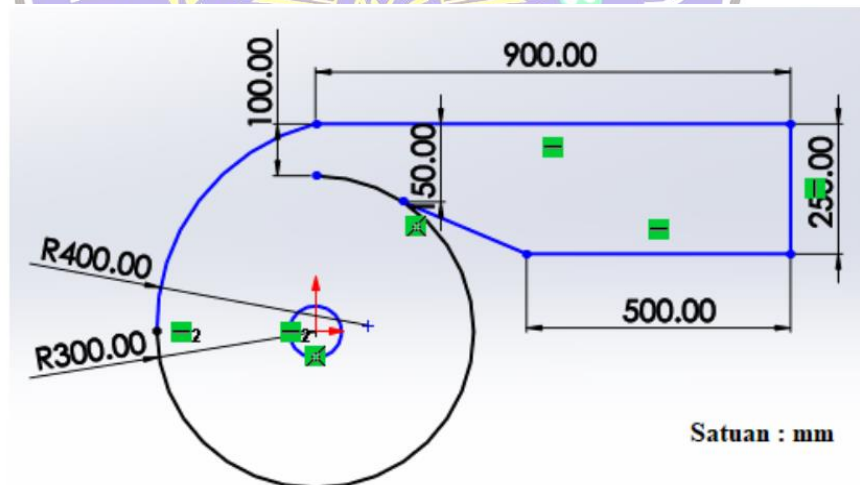
### 4. Bak Penampungan Air

Sebagai wadah penyimpanan air yang biasa digunakan dalam ujian turbin.

## 3.4 Desain Varian Sudu Turbin Vortex

### 3.4.1 Skema Desain Turbin Vortex

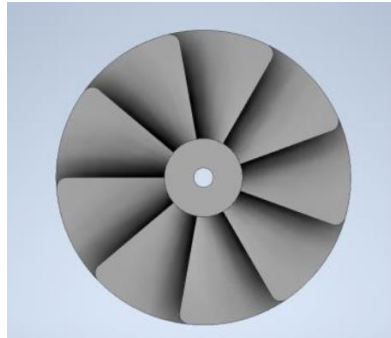
Dalam pengukuran desain turbin vortex, ketinggian bagian penampang turbin atau head air (H) adalah 1850 mm,  $\varnothing$  600 mm, panjang pintu masuk 900 mm, dan bujur sangkar 250 mm. Dimensi penampang yang lebih rinci ditunjukkan pada gambar 3.7. Variasi jumlah sudu turbin berjumlah 4 buah yaitu sebanyak 4, 5, 6, dan 7,. Perbedaan sudu satu dengan yang lainnya hanya terdapat pada jumlah jari-jari sudu pada tiap desainnya.



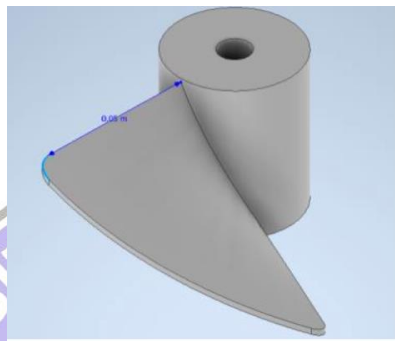
Gambar 3. 6 Skema Desain Turbin

### 3.4.2 Contoh Desain Sudu

Pada pembuatannya sudu turbin yang terbuat dari bahan plate besi yang terdiri dari variasi jumlah sudu yang berbeda dengan kemiringan sudu  $41^\circ$  yang dibentuk sedemikian rupa seperti gambar dibawah ini.



**Gambar 3. 7 Desain Turbin**



**Gambar 3. 8 Desain Turbin**

### **3.5 Prosedur Pembuatan**

#### **3.5.1 Pembuatan Desain dan Bentuk Sudu**

1. Menyiapkan berbagai bahan dan peralatan yang diperlukan dalam membuat turbin vortex dengan jumlah sudu yang bervariasi.
2. Membuat susunan jumlah variasi sudu.
3. Memviasi jumlah sudu menjadi 4 macam: 4, 5, 6, dan 7

#### **3.5.2 Manufaktur Desain dan Bentuk Sudu**

Desain turbin vortex yang telah dibentuk akan divariasikan jumlah sudunya yaitu sebanyak 4, 5, 6, dan 7 yang kemudian akan diuji pada perangkat yang telah di bentuk.

### **3.6 Prosedur Penelitian**

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.
- b. Merancang dan mendesain turbin *vortex* yang digunakan.
- c. Instalasi dan pengujian turbin.
- d. Memasang turbin dengan jumlah sudu 4.

- e. Mengatur debit aliran air dengan bukaan katup  $\frac{1}{2}$ .
- f. Kemudian melakukan pengambilan data sebanyak 6 kali pengulangan dengan interval waktu 20 detik untuk sudu 4.
- g. Meningkatkan debit air ke debit yang lebih tinggi sebanyak 2 kali,  $\frac{3}{4}$  kali, dan bukaan *full*.
- h. Langkah pada poin b hingga g dilakukan juga untuk jumlah sudu 5, 6, 7.
- i. Parameter penelitian yang perlu dicatat adalah :
  1. Kecepatan putaran poros.
  2. Gaya yang dihasilkan.
- j. Tabel Data Pengukuran
- k.

| Debit (lpm) |         |       |         |       |         |       |
|-------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Waktu (s)   | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) |
| 20          |         |       |         |       |         |       |
| 40          |         |       |         |       |         |       |
| 60          |         |       |         |       |         |       |
| 80          |         |       |         |       |         |       |
| 100         |         |       |         |       |         |       |
| 120         |         |       |         |       |         |       |
| Rata-rata   |         |       |         |       |         |       |

- l. Membuat laporan akhir

### 3.7 Metode Analisis Data

Hasil dari data yang diperoleh melalui penelitian adalah kecepatan putar (rpm) dan gaya (Nm). Setelah nilai fluida dihitung, analisis data dapat dilakukan, dan data berikut dapat dihasilkan melalui rumus perhitungan, akan memperoleh data-data sebagai berikut :

- a. Torsi
- b. Daya
- c. Efisiensi
- d. Hasil Penelitian akan diolah dalam bentuk grafik data dan akan dianalisa.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Perancangan dan pembuatan**

##### **4.1.1. Perancangan Desain Menggunakan Software *CAD***

Setelah perancangan dan realisasi selesai, hal penting yang perlu dilakukan pertama kali adalah merancang desain. hal ini dilakukan menggunakan software *Autodesk Inventor 2021* agar dalam proses implementasi sudah ada standar untuk desain apa yang akan dibuat. Karena *Autodesk Inventor 2021* adalah pemanfaatan software yang diterapkan pada praktikum Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Ponorogo.

Widiyatmoko (2012) melakukan penelitian yang menghasilkan acuan ukuran perancangan. Langkah dalam proses desain, dimulai dari perancangan gambar bagian hingga proses menggabungkan.

##### **4.1.2. Rumah Turbin, Rangka dan Bak Penampung**

Sebagai rumah turbin digunakan bahan-bahan PVC dengan ukuran diameter atas 25 cm, diameter bawah 10 cm dengan tingginya yaitu 35 cm, sedangkan untuk bak penampung menggunakan drum plastik dimana diameternya adalah 58 cm dan tingginya 100 cm. Besi bentuk L digunakan sebagai rangka dalam percobaan sebab mudah diperoleh dan relatif kuat sebagai rangka turbin vortex, seperti yang dirancang menggunakan *Software Autodesk Inventor*.

#### **4.2. Hasil Penelitian**

Dalam penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *vortex* terdapat head, debit, massa sudu, dan vortisitas dimana variabel-variabel tersebut berpengaruh terhadap nilai kinerja turbin maka terdapat perbedaan pada setiap jumlah sudunya. Jumlah sudu mempengaruhi massa sudu dimana lebih banyak sudu berarti akan bertambah masanya yang mengakibatkan aliran vortex harus melawan momen inersia yang lebih besar.

Konsep "vortisitas" diterapkan pada dinamika fluida. Dalam istilah sederhana, kecenderungan elemen fluida untuk berputar disebabkan oleh perbedaan tekanan di dua bidang aliran fluida. Dalam pengujian arah aliran, kecepatan aliran di luar pusaran lebih lambat dari kecepatan aliran yang ada di dalam dan tengah pusaran.

#### 4.2.1. Pengukuran debit

Pada pengukuran ini, katup diseting diposisi setengah sampai *full*. Pengukuran debit dilakukan untuk mencari data acuan untuk pengambilan data pada masing-masing variasi turbin. Data ukuran debit didapatkan dari pembacaan skala pada flowmeter. Berikut hasil pembacaan data debit dari flowmeter.

Tabel 4. 1. Pengukuran Debit Terhadap Bukaannya Katup

| Bukaan Katup | Debit (liter/second) |
|--------------|----------------------|
| 1/2 %        | 4,24                 |
| 3/4%         | 5,99                 |
| Full         | 7,80                 |

Untuk pengujian pada turbin setiap jumlah dari variasi sudu, diperoleh data seperti yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 2. Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Dan Beban Pengereman Pada Turbin 4 Sudu

| Debit<br>(liter/second) | 4,24    | 5,99  | 7,80    |       |         |       |
|-------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Waktu (s)               | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) |
| 20                      | 60,5    | 2,8   | 117,3   | 3,8   | 155,6   | 4,95  |
| 40                      | 63,9    | 2,8   | 110,2   | 3,8   | 153,4   | 4,95  |
| 60                      | 69,2    | 2,8   | 118,1   | 3,8   | 155,8   | 4,95  |
| 80                      | 69,7    | 2,8   | 117,3   | 3,8   | 158,8   | 4,95  |
| 100                     | 60,3    | 2,8   | 119,8   | 3,8   | 150,7   | 4,95  |
| 120                     | 62,7    | 2,8   | 117,2   | 3,8   | 159,1   | 4,95  |
| Rata-rata               | 64,38   | 2,8   | 116,5   | 3,8   | 155,6   | 4,95  |

Tabel 4. 3. Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Dan Beban Pengereman Pada  
Turbin 5 Sudu

| Debit          |         | 4,24  |         | 5,99  |         | 7,80  |  |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|--|
| (liter/second) |         |       |         |       |         |       |  |
| Waktu (s)      | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) |  |
| 20             | 52,8    | 2,6   | 108,7   | 3,7   | 148,8   | 4,75  |  |
| 40             | 56,3    | 2,6   | 106,5   | 3,7   | 140,1   | 4,75  |  |
| 60             | 53,2    | 2,6   | 107,6   | 3,7   | 149,3   | 4,75  |  |
| 80             | 54,2    | 2,6   | 105,9   | 3,7   | 147,8   | 4,75  |  |
| 100            | 59,9    | 2,6   | 108,2   | 3,7   | 149,7   | 4,75  |  |
| 120            | 57,4    | 2,6   | 100,5   | 3,7   | 140,1   | 4,75  |  |
| Rata-rata      | 55,63   | 2,6   | 106,2   | 3,7   | 146     | 4,75  |  |

Tabel 4. 4. Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Dan Beban Pengereman Pada  
Turbin 6 Sudu

| Debit<br>(liter/second) | 4,24    |       | 5,99    |       | 7,80    |       |
|-------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Waktu (s)               | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) |
| 20                      | 42,1    | 2,4   | 93,5    | 3,6   | 139,7   | 4,5   |
| 40                      | 42,2    | 2,4   | 92,3    | 3,6   | 137,2   | 4,5   |
| 60                      | 42,2    | 2,4   | 92,4    | 3,6   | 135,2   | 4,5   |
| 80                      | 42,3    | 2,4   | 91,7    | 3,6   | 136,8   | 4,5   |
| 100                     | 42,2    | 2,4   | 90,9    | 3,6   | 135,5   | 4,5   |
| 120                     | 42,1    | 2,4   | 93,8    | 3,6   | 137,5   | 4,5   |
| Rata-rata               | 42,18   | 2,4   | 92,43   | 3,6   | 137     | 4,5   |

Tabel 4. 5. Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Dan Beban Pengereman Pada Turbin 7 Sudu

| Debit<br>(liter/second) | 4,24    |       | 5,99    |       | 7,80    |       |
|-------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Waktu (s)               | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) | N (rpm) | F (N) |
| 20                      | 41,1    | 2,3   | 90,5    | 3,5   | 110,8   | 4,1   |
| 40                      | 42,2    | 2,3   | 89,3    | 3,5   | 112,2   | 4,1   |
| 60                      | 41,2    | 2,3   | 88,6    | 3,5   | 111,7   | 4,1   |
| 80                      | 41,3    | 2,3   | 90,4    | 3,5   | 109,9   | 4,1   |
| 100                     | 42,2    | 2,3   | 90,9    | 3,5   | 111,2   | 4,1   |
| 120                     | 41,1    | 2,3   | 89,2    | 3,5   | 111,8   | 4,1   |
| Rata-rata               | 42,18   | 2,3   | 92,43   | 3,5   | 137     | 4,1   |

#### 4.3. Pengolahan Data dan Perhitungan

Perhitungan dalam Tabel 4.2 di baris bagian rata-rata dengan kondisi turbin vortex pada debit air tertinggi.

##### 4.3.1. Perhitungan Daya Air

Dalam mencari daya yang dihasilkan air dapat menggunakan Persamaan 1 pada Sub BAB 2.3.3. yaitu :

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

Dimana:

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

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

$Q$  = Kapasitas air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$  = Head (m)

$Pa$  = Daya air (W)

Dari ketiga jenis pengujian turbin *Head* air memiliki ketinggian yang sama karena menyesuaikan dari ketinggian *conical basin* yang memiliki ketinggian 0,35 m dan debit dibagi dengan nilai 1000 untuk

mengkonversi dari satuan liter/detik menjadi  $m^3/detik$ , jadi untuk perhitungan daya air adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} Pa &= \rho \times g \times Q \times H \\ &= 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \times (7,80/1000) m^3/detik \times 0,35 m \\ &= 26,7813 Watt \end{aligned}$$

Jadi didapatkan daya air sebesar 26,78 Watt

#### 4.3.2. Perhitungan Torsi

Torsi pada turbin *vortex* dapat dihasilkan menggunakan persamaan 2 di Sub BAB 2.3.3. yaitu :

$$T = r \times F$$

Di mana :

$T$  = torsi ( $Nm$ )

$r$  = jarak lengan torsi ( $m$ ).

$F$  = gaya pengimbang ( $N$ ).

dengan jarak lengan 0,1 m maka besarnya torsi ( $T$ ) adalah

$$\begin{aligned} T &= r \times F \\ &= 0,1 \times 4,95 \\ &= 0,495 Nm \end{aligned}$$

Maka torsi ( $T$ ) sebesar 0,495  $Nm$

#### 4.3.3. Perhitungan Daya Turbin

Daya pada turbin *vortex* dapat dihitung dengan persamaan 6 pada Sub BAB 2.3.3. yaitu :

$$P_t = \frac{T\pi n}{30}$$

Di mana :

$P_t$  = daya yang dihasilkan turbin ( $Watt$ ).

$T$  = torsi turbin ( $Nm$ ).

$n$  = putaran poros ( $Rpm$ ).

dengan nilai torsi  $Nm$  dan putaran poros  $155,6 \text{ Rpm}$ , maka dihasilkan besarnya daya turbin air ( $P_t$ ) sebesar :

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{T\pi n}{30} \\ &= \frac{0,495 Nm \times \pi \times 155,6 \text{ Rpm}}{30} \\ &= 8,06 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh daya turbin angin ( $P_t$ ) sebesar  $8,06 \text{ Watt}$ .

#### 4.3.4. Perhitungan Efisiensi ( $C_p$ )

Untuk mendapatkan perbandingan antara daya dari turbin *Vortex* ( $P_t$ ) dan daya yang dihasilkan dari air ( $P_a$ ), dapat dirumuskan menggunakan Persamaan 7 di Sub Bab 2.3.3 yaitu :

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

Di mana :

$P_t$  = daya dari turbin ( $\text{Watt}$ ).

$P_a$  = daya dari air ( $\text{Watt}$ ).

Jadi adanya daya turbin  $8,06 \text{ watt}$  dengan daya air  $141,5583 \text{ watt}$  maka besar koefisien daya ( $C_p$ ) adalah :

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{8,06}{26,78} \times 100\% \\ &= 30,095 \% \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai  $C_p$  sebesar  $30,09 \%$ .

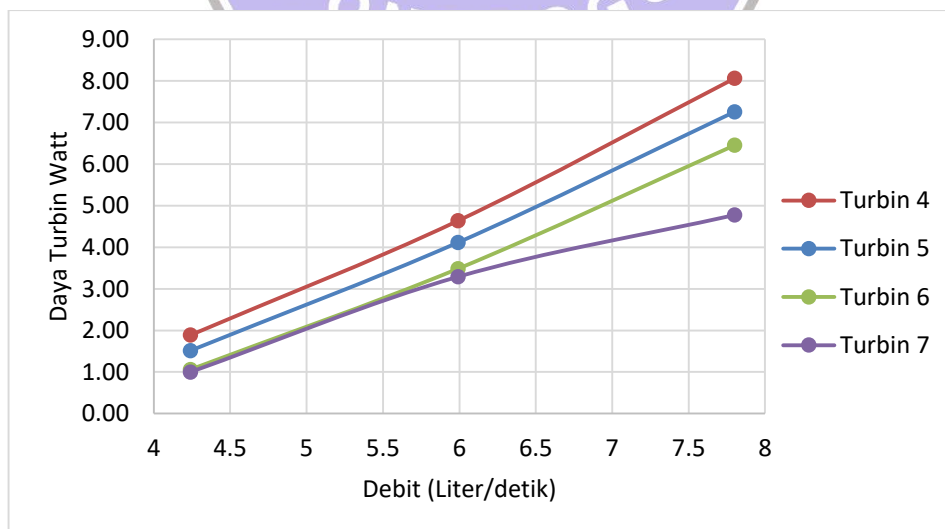
Dengan menggunakan langkah perhitungan di atas, maka hasil untuk pengolahan data dan perhitungan data ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.6. Hasil perhitungan

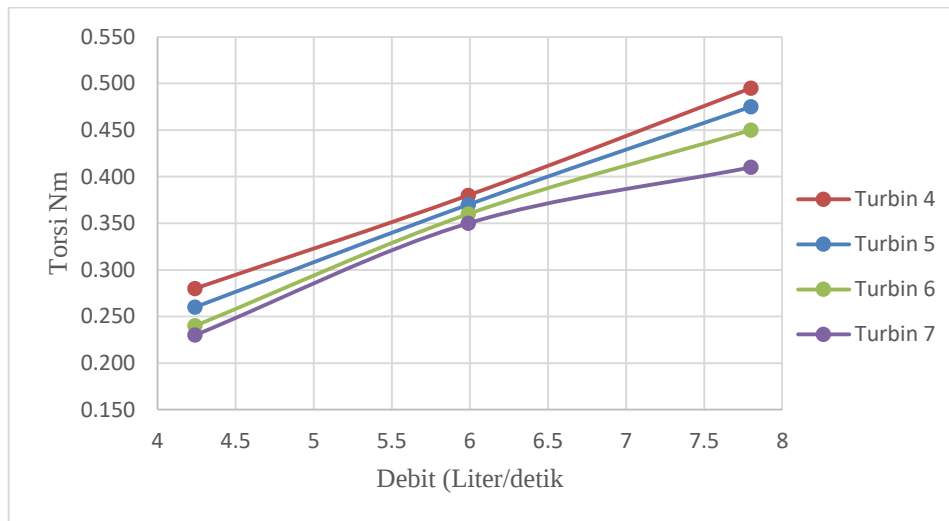
| no. | Debit<br>Ltr/dtk | P Air<br>Watt | Torsi<br>N/m | P Turbin<br>Watt | CP  |        |
|-----|------------------|---------------|--------------|------------------|-----|--------|
| 1   | 7,8              | 26,78         | 0,495        | 8,06             | 30% |        |
| 2   | 5,99             | 20,57         | 0,380        | 4,64             | 23% | Sudu 4 |
| 3   | 4,24             | 14,56         | 0,280        | 1,89             | 13% |        |
| 4   | 7,8              | 26,78         | 0,475        | 7,26             | 27% |        |
| 5   | 5,99             | 20,57         | 0,370        | 4,11             | 20% | Sudu 5 |
| 6   | 4,24             | 14,56         | 0,260        | 1,51             | 10% |        |
| 7   | 7,8              | 26,78         | 0,450        | 6,45             | 24% |        |
| 8   | 5,99             | 20,57         | 0,360        | 3,48             | 17% | Sudu 6 |
| 9   | 4,24             | 14,56         | 0,240        | 1,06             | 7%  |        |
| 10  | 7,8              | 26,78         | 0,410        | 4,77             | 18% |        |
| 11  | 5,99             | 20,57         | 0,350        | 3,29             | 16% | Sudu 7 |
| 12  | 4,24             | 14,56         | 0,230        | 1,00             | 7%  |        |

#### 4.4. Hasil Dan Pembahasan

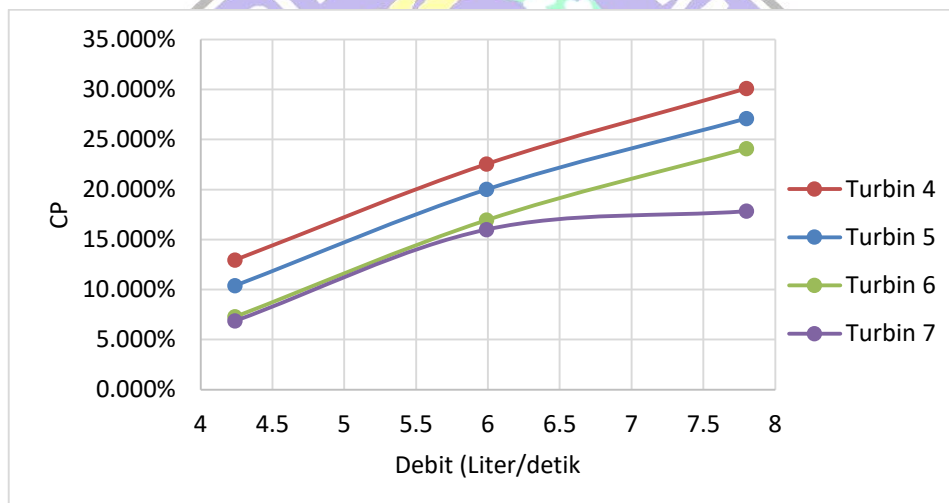
Dari data hasil penelitian dan perhitungan yang dilakukan, didapatkan grafik hubungan antara torsi ( $T$ ), daya turbin ( $P_t$ ),  $CP$  dengan debit air ( $Q$ ) untuk setiap variasi turbin angin.



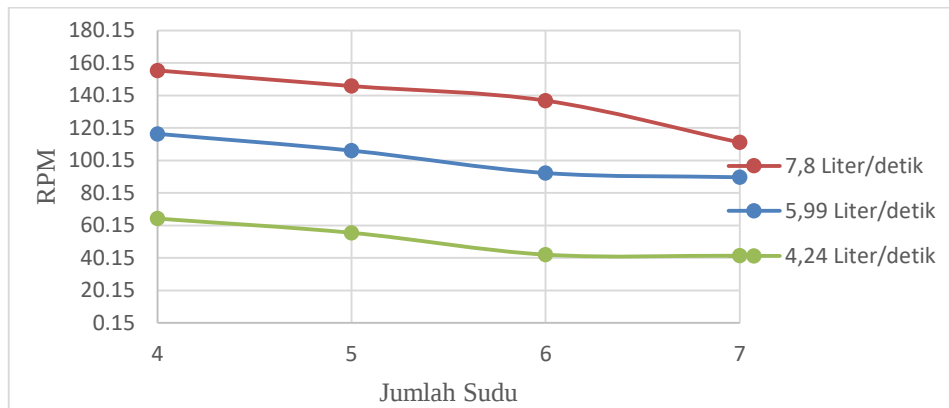
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Antara Daya Turbin terhadap Debit Air



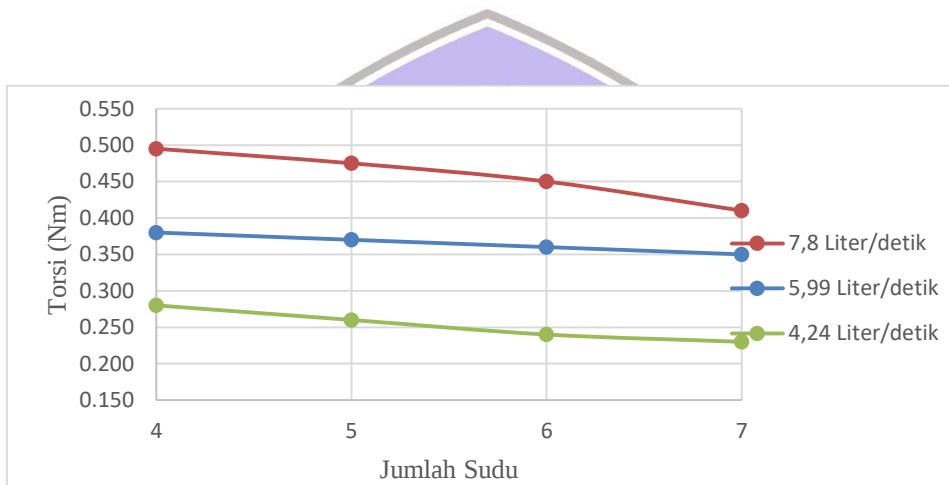
**Gambar 4. 2** Grafik Perbandingan Antara Torsi Turbin terhadap Debit Air



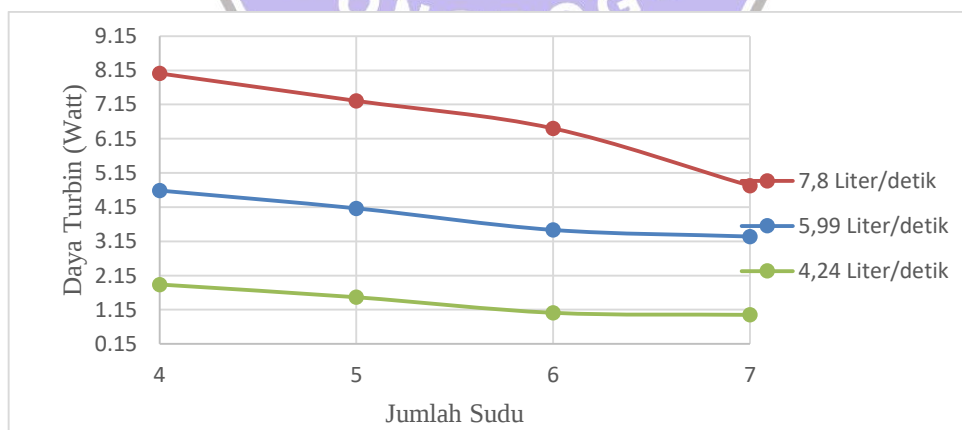
**Gambar 4. 3** Grafik Perbandingan CP terhadap Debit Air



**Gambar 4. 4** Hubungan Antara Putaran dengan Jumlah Sudu



**Gambar 4. 5** Hubungan Antara Torsi dengan Jumlah Sudu



**Gambar 4. 6** Hubungan Antara Daya Turbin dengan Jumlah Sudu

Dasil penelitian dan perhitungan menunjukkan bagaimana jumlah sudu memengaruhi kerja turbin. Turbin air dengan 4 sudu menghasilkan koefisien daya ( $C_p$ ) sebesar 30,095 % pada debit air 7,8 liter/detik. Turbin air dengan jumlah 5 sudu menghasilkan koefisien daya sebesar 27,097 % pada debit air 7,8 liter/detik. Turbin air dengan jumlah 6 sudu menghasilkan koefisien daya sebesar 24,091 % pada debit air 7,8 liter/detik. Turbin air dengan 7 sudu menghasilkan koefisien daya sebesar 17,829 % dengan debit air 7,8 liter/detik. Data menunjukkan bahwa turbin dengan variasi 4 sudu memiliki koefisien daya yang lebih tinggi daripada yang lain.

Daya air memiliki perbandingan yang lurus dengan ketinggian permukaan atau head dan debit air. Hal tersebut berarti daya yang dihasilkan sebuah turbin air akan dipengaruhi oleh debit air arus vortex yang terjadi di conical basin. Jadi semakin besar nilai debit air dan pusaran air yang terbentuk maka semakin besar juga daya listrik yang akan dihasilkan. Akan tetapi, dengan sapuan rotor, turbin air hanya dapat mengekstrak sekitar 30,095 persen daya air. Hal ini berarti nilai efisiensi maksimum yang dapat dihasilkan sistem turbin ini. Pengujian yang dilakukan adalah dengan memvariasikan jumlah sudu (mulai 4 hingga 7). Namun, karena tumbukan yang lebih besar dan ruang di sisi kolam yang sempit, kinerja turbin menurun. Hal tersebut juga dikarenakan jumlah sudu yang meningkat. Ini terjadi karena aliran vortex hilang di sisi pinggir kolam, menyebabkan air langsung jatuh ke lubang di dasar kolam vortex.

Sehingga dari grafik-grafik di atas dapat diambil kesimpulan bahwa ketika jumlah sudu meningkat, kinerja turbin akan rusak karena pusaran yang berfungsi untuk memutar turbin berkurang. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa untuk menghasilkan daya maksimum pada turbin vortex maka jumlah sudu yang digunakan adalah 4 sudu.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. KESIMPULAN**

Dari pengujian model turbin angin yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Turbin vortex miniatur telah dibuat dan diuji menggunakan berbagai bentuk sudu turbin.
2. Daya turbin air tertinggi sebesar 8,06 Watt pada turbin air dengan jumlah sudu 4, koefisien daya sebesar 30,095 % saat debit air 7,8 liter/detik. Daya pada turbin semakin menurun ketika adanya variasi pada jumlah sudu.
3. Jumlah sudu turbin akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh turbin. Karena semakin banyak jumlah sudu cenderung menghilangkan arus vortex pada conical basin. Sehingga pada variasi sudu daya yang dihasilkan oleh turbin mengalami penurunan.

#### **5.2. SARAN**

Adapun saran dari kesimpulan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian lebih lanjut harus dilakukan terutama pembahasan tentang pengaruh bentuk sudu yang dapat meningkatkan unjuk kinerja turbin.
2. Perlu adanya ketelitian dan perhatian dalam pembuatan turbin vortex untuk mendapatkan hasil terbaik.
3. Perlu adanya tempat untuk menguji turbin yang lebih baik sehingga data yang dikumpulkan sesuai dengan keadaan lingkungan sekitar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. S. & S. K. Anam, "Pengaruh Jenis Sudu terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetik Poros Horizontal," *Proton*, pp. 22-24, 2018.
- [2] W. D. Prasetyo, "Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Keil dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya," Yogyakarta, 2018.
- [3] L. J. I. S. KR Agustha, "Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan Menggunakan Turbin Vortex," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9 (3), pp. 5-6, 2022.
- [4] H. A. Triswanto, "Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kelengkungan Dengan Sudu Tipe U Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex," in *Universitas Negeri Surabaya.*, surabaya, 2017.
- [5] F. Zotloterer, "Zotloterer Gravitational Vortex Power Plan," maret 2004. [Online]. Available: <http://www.zotloterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/zotloterer-turbine/>. [Accessed 10 februari 2023].
- [6] L. J. I. M. S. Kadek Rekha Agustha, " Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan Menggunakan Turbin Vortex," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9 (3), no. september 2022, pp. 33-34, 2022.
- [7] R. P. Viko Rinanda, "Optimasi Desain Turbin Air Tipe Vortex dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi," in *Seminar Nasional Cendekiawan ke-4*, Jakarta, 2018.

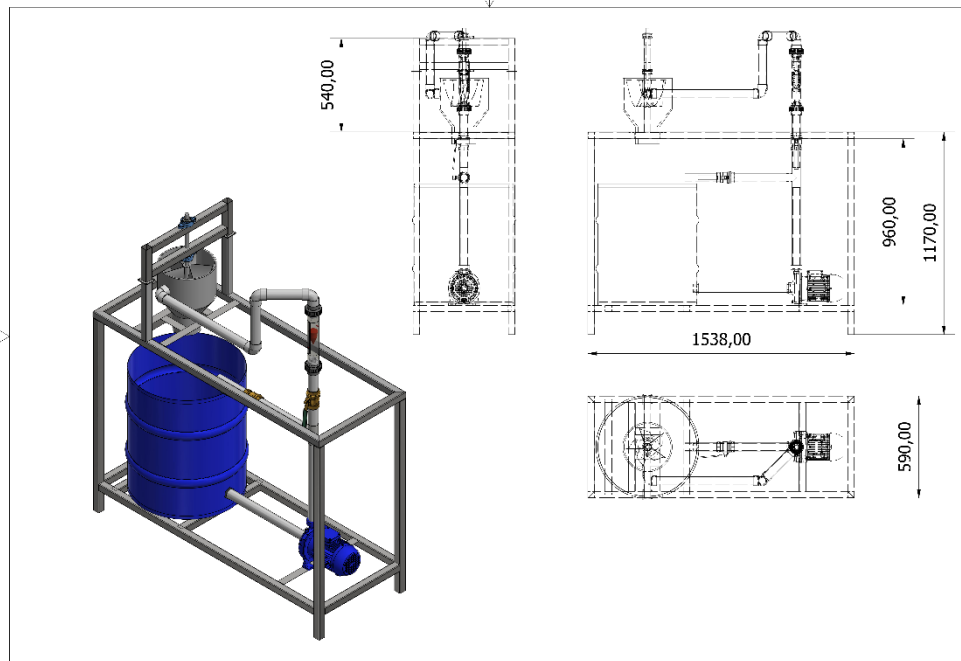
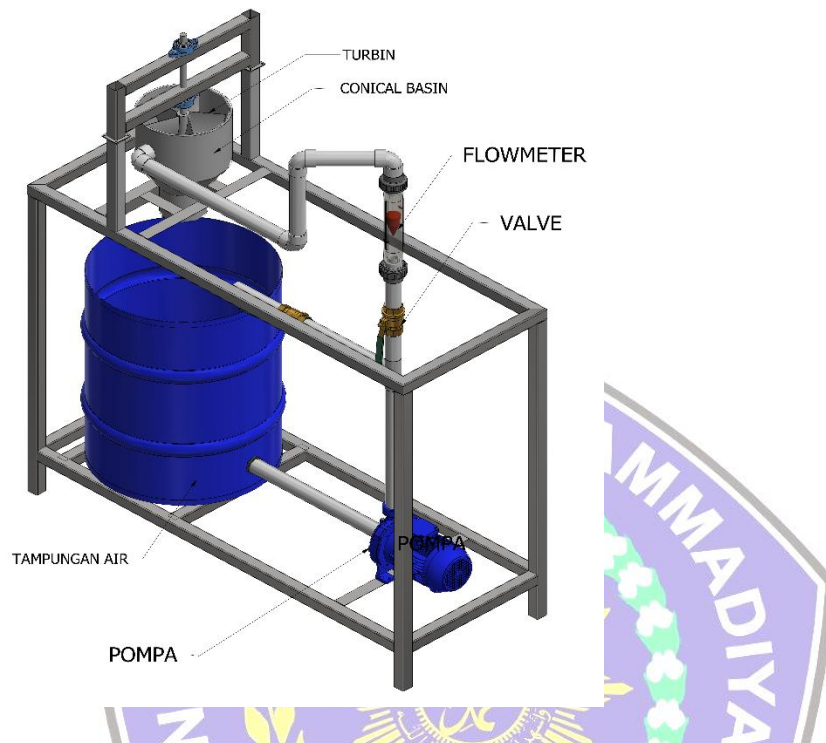
- [8] M. N. Tri Rachmanto, "Pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya dan efisiensi turbin vortex," *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, vol. 8, p. 54, 2020.
- [9] A. K. M. S. d. M. M. M. Masykur, "Studi Numerik Pengaruh Sudut Kemiringan Sudu Terhadap Performa Turbin Angin Vertikal Tipe Savonius," *J. Mekanika Mek. Inov dan Teknologi*, vol. 7, pp. 25-34, 2021.
- [10] D. S. W. F. A. Ayiz, "Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan dan Debit Air Terhadap Daya dan efisiensi Turbin Air Vortex," *Jurnal Pendidik Teknik Mesin*, vol. 03, pp. 167-179, 2021.
- [11] M. Muryanto, "Analisis Water Turbin Vortex Terhadap Daya dan Putaran Optimum yang dihasilkan pada Pembangkit Listrik Tenaga piko Hidro," *Jurnal Ilmu Teknologi Mesin*, vol. 8, pp. 66-77, 2022.
- [12] Y. H. d. T. R. A. Al Farisi, "Analisis Variasi Jumlah Sudu turbin Berpenampang Pelat Datar pada Turbin Air Aliran Vortex dengan Tipe Saluran Masuk Involute," *Jurnal Ilmu Teknik Mesin*, vol. 7, pp. 72-78, 2019.
- [13] Y. L. d. P. H. Adiwibowo, "Eksperimental Pengembangan Sudut Sudu Berpenampang Lengkung dengan Variasi Kelengkungan Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 09, pp. 99-108, 2021.
- [14] R. A. d. P. H. Adiwibowo, "Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Sudu Turbin Reaksi Aliran Vortex Dengan Sudu Profil NACA 0018 Terhadap Kinerja Turbin," 2017.

- [15] D. L. Z. d. T. Susilo, "Analisis Water Turbin Vortex Terhadap Output Putaran Serta Daya yang Dihasilkan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro," *Jurnal Ilmu Program Studi Magister Teknik Mesin*, vol. 11, pp. 85-93, 2021.
- [16] G. S. d. Supriyo, "Pembuatan Turbin Vortex dengan Sudu Pipa Belah Tiga dengan Sudut Kemiringan Sudu 45," *Eksergi Jurnal Teknologi Energi*, vol. 14, pp. 72-77, 2018.
- [17] A. L. Y. Sitinjak, "Kendali Kemiringan Sudu dan Debit Air Pada Prototipe PLTA dengan Menggunakan Turbin Vortex," Universitas Sanata Dharma, 2021.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Desain Turbin



## Lampiran 2. Pembuatan Rancang Bangun







### Lampiran 3. Proses Pengambilan Data



