

**KAJIAN EKPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH SUDU
TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN *VORTEX***

(Skripsi)

Oleh

FIKI BAYU FERNANDO



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

KAJIAN EKPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN *VORTEX*

Oleh:

FIKI BAYU FERNANDO

Sebagian besar energi di Indonesia masih berasal dari energi fosil yang berupa gas alam dan minyak bumi sebagai bahan bakar kendaraan dan pembangkit listrik. Maka dari itu terdapat alternatif lain sebagai solusi pada masalah di atas, penelitian ini menggunakan energi yang terbarukan yaitu pemanfaatan energi aliran yang rendah sehingga dapat dimanfaatkan dengan jenis turbin pusaran (*vortex*). Jumlah sudu yang divariasikan yaitu 5, 6, 7, dan 8 buah sudu dengan bentuk sudu angled blade serta menggunakan tiga variasi debit aliran. Hasil pengujian yang pertama pada 5 sudu diperoleh nilai efisiensi 24,80 %, 6 sudu mendapatkan nilai efisiensi 22,99 %. Didapat hasil pengujian dimana jumlah sudu yang optimal yaitu pada 7 buah sudu dengan efisiensi tertinggi 28,22 % dibandingkan jumlah 8 buah sudu dengan nilai efisiensi 25,07 %. Hal ini dikarenakan faktor sudu yang tidak simetris menjadikan gaya hambat negatif relatif kecil dan jarak antara sudu mempunyai kerenggangan yang menjadikan aliran dapat mengalir dan menerpa sudu lainnya, hal ini akan meningkatkan gaya momen pada aliran turbulensi relatif kecil.

Kata kunci : *Vortex*, Efisiensi, Sudu.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY THE INFLUENCE OF NUMBER OF SPOES ON VORTEX TURBINE PERFORMANCE

By

FIKI BAYU FERNANDO

Most of the energy in Indonesia still comes from fossil energy in the form of natural gas and petroleum as fuel for vehicles and power plants. There is another alternative as a solution for this problem. The alternative is renewable energy. Renewable energy used in this research is the utilization of low flow energy so that it can be used with a vortex turbine type. The variations of number of blades used in this research are 5 blades, 6 blades, 7 blades, and 8 blades with angled blade shape by using three flow discharge variations. The result of the first test on 5 blades obtained an efficiency value of 24.80%. Meanwhile the test on 6 blades obtained an efficiency value of 22.99%. The test result shows that the optimal number of blades is seven blades with the highest efficiency of 28.22% compared to the number of 8 blades with an efficiency value of 25.07%. This is because the symmetrical blade makes the negative force relatively small and the distance between the blades has a gap that allows the flow to flow and hit the other blades, this will increase the moment force in turbulent flow relatively small.

Keywords: Vortex, efficiency, Blade.

**KAJIAN EKPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH SUDU
TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN *VORTEX***

Oleh

FIKI BAYU FERNANDO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2023

Judul Skripsi : **KAJIAN EKPERIMENTAL PENGARUH
JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK
KERJA TURBIN VORTEX**

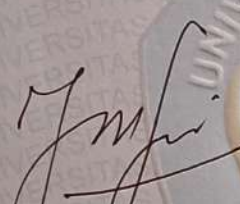
Nama Mahasiswa : **Fiki Bayu Fernando**

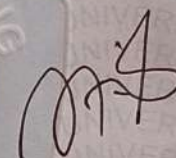
Nomor Pokok Mahasiswa : **1755021001**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

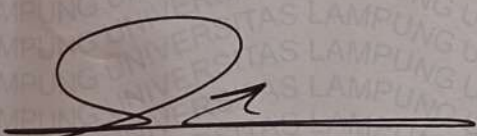


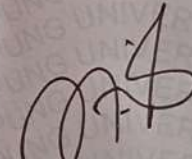

Iorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.
NIP 19710127 199803 1 004


Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin

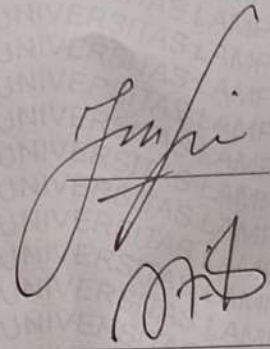

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003


Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

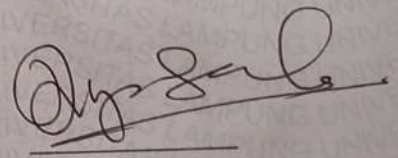
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.



Sekretaris : Novri Tanti, S.T., M.T.



Penguji Utama : M. Dyan Susila, S.T., M.Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. *Handwritten Initials*
NIP 19750928200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Agustus 2023

LEMBAR PERNYATAAN

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR
No. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung, 18, 10, 2023
Pembuat Pernyataan



Fiki Bayu Fernando
NPM 1755021001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 12 Agustus 1999 sebagai anak kedua, dari pasangan Bapak Sunarto dan Ibu Suparni. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD NEGERI 2 BUKOPOSO yang diselesaikan pada tahun 2012 dan SMAN 1 WAY SERDANG tahun lulus 2017, lalu penulis mendaftar sebagai mahasiswa pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi otomotif.

Penulis pernah melakukan Kerja Praktek (KP) di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan Lampung Selatan tahun 2020 dengan judul **“ANALISA PERHITUNGAN KEAUSAN PADA *BELT CONVEYOR* 502B PT. BUKIT ASAM PELABUHAN TARAHAN”**

Tahun 2023 penulis melakukan dan bergabung dalam tim dengan judul **“KAJIAN EKPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN *VORTEX*”**.

Dilaboratorium Fluida dibawah bimbingan bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T. dan ibu Novri Tanti, S.T., M.T.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

**Kedua Orang Tua Serta Keluarga Yang Terkasih
Dan
Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik Dan Membimbing
Penulis**

“Jazakumullah Khairan”

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karna atas rahmat, hidayah, dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang turbin air. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi

Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Sunarto dan Suparni yang selalu mendampingi dan melimpahkan doa-doanya pada penulis sehingga tetap bersemangat dalam menjalankan studi Teknik Mesin Universitas Lampung ini.
2. Untuk saudara di Tanjung Bintang pakde Cahyo, bude Karti, mas Dedi Irawan, S.T., dan mas Agung Wibowo, S.T., yang selalau memberi semangat dan motivasinya.
3. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

5. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku ketua program studi Prodi S1 dan Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, dan juga beliau selaku dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
8. Bapak Dyan Susila, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimakasih untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal dan hasil terdahulu.
9. Randa Admiral, S.T., Yoki Surya Grahita, S.T. selaku mentor dalam penyelesaian skripsi dan seminar saya.
10. Tim Laboratorium Mekanika Fluida dan kawan-kawan: Hilmi Akram, S.T., Maulana Abdullah, A.md, M Rasyid Ridho (mbelong), Haris Sujatmiko, Anthony Adi Pradipta (mulet), Esa Perkasa Kumajaya, Nouval Ferdauza (opang), Daud Yosh Aruan (mieyosh), Muhamad Fachri (ojeb), Alfitobahri (uda anak minang) dan Terimakasih banyak teruntuk Bapak Sugiman selaku teknisi lab yang selalu memberikan semangat dan bantuan pada penulis.
11. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
12. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
13. Teman-teman Angkatan 2017 yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga.
Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurna skripsi ini

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca.
Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, ,, 2023

Penulis,

Fiki Bayu Fernando

NPM. 1755021001

MOTTO

“Sukses adalah saat persiapan dan kesempatan bertemu”

Bobby unser

**“Setiap senyuman memiliki arti, berharap esok melihat senyuman yang lebih
berarti”**

Fiki Bayu Fernando

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	
1.2. TUJUAN	2
1.3. BATASAN MASALAH	3
1.4. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. TURBIN AIR	
2.2. SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TURBIN VORTEX	8
2.3. PERSAMAAN DASAR ALIRAN	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1. TEMPAT PENELITIAN	
3.2. ALAT DAN BAHAN	
3.3. DIAGRAM ALIR PENELITIAN	20
3.4. PEMBUATAN TURBIN VORTEX	28
3.5. PEMBUATAN SISTEM ALAT PENGUJIAN	
3.6. PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. SISTIM ALAT PENGUJIAN	
4.2. SUDU TURBIN VORTEX	33
4.3. HASIL PENGUJIAN	36
4.4. PEMBAHASAN	43
BAB V PENUTUP	50
5.1. KESIMPULAN	
5.2. SARAN	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Turbin Francis	6
Gambar 2 Turbin <i>impuls</i> dan proses	7
Gambar 3 Turbin <i>Crossflow</i>	8
Gambar 4 Sistem pembangkit listrik turbin <i>vortex</i>	
Gambar 5 Jenis-jenis saluran masuk turbin <i>vortex</i>	9
Gambar 6 Skema tangki sirkulasi pada turbin <i>vortex</i>	10
Gambar 7 Skema sistim pembangkit listrik turbin <i>vortex</i>	11
Gambar 8 Aliran <i>Vortex</i> Paksa	12
Gambar 9 Aliran <i>Vortex</i> Bebas	13
Gambar 10 Alat ukur torsi	14
Gambar 11 Plat besi	16
Gambar 12 Poros	17
Gambar 13 Pipa besi	
Gambar 14 <i>Bearing</i>	
Gambar 15 <i>Pulley</i>	18
Gambar 16 Mesin gerinda	
Gambar 17 Mesin las	
Gambar 18 Mesin rol	19
Gambar 19 Cetakan sudu	
Gambar 20 Pompa air	
Gambar 21 <i>Tachometer</i>	20
Gambar 22 Gelas ukur	
Gambar 23 <i>Waterpass</i>	
Gambar 24 Meteran	21
Gambar 25 Sabuk	
Gambar 26 Neraca pegas	
Gambar 27 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 28 Sudu turbin <i>vortex</i> 5, 6, 7, dan 8	23
Gambar 29 Desain skema model alat uji pembangkit listrik turbin <i>vortex</i>	24
Gambar 30 Tangki <i>reservoir</i>	27
Gambar 31 Saluran air	
Gambar 32 Sudu pengarah	

Gambar 33 Tangki sirkulasi	28
Gambar 34 Mal	29
Gambar 35 Membuat bentuk sudu	
Gambar 36 Radius sudu	
Gambar 37 Poros turbin	30
Gambar 38 Titik sudu	
Gambar 39 Turbin dengan jumlah sudu 5, 6, 7, dan 8.	
Gambar 40 Hubungan putaran turbin terhadap torsi pada debit aliran $0,008\text{m}^3/\text{s}$	38
Gambar 41 Hubungan putaran turbin terhadap torsi pada debit aliran $0,009\text{m}^3/\text{s}$	39
Gambar 42 Hubungan putaran turbin terhadap torsi pada debit aliran $0,012\text{m}^3/\text{s}$	
Gambar 43 Hubungan putaran turbin terhadap daya poros pada debit aliran $0,008\text{m}^3/\text{s}$	
Gambar 44 Hubungan putaran turbin terhadap daya poros pada debit aliran $0,009\text{m}^3/\text{s}$	
Gambar 45 Hubungan putaran turbin terhadap daya poros pada debit aliran $0,012\text{m}^3/\text{s}$	40
Gambar 46 Hubungan putaran turbin terhadap efisiensi pada debit aliran $0,008\text{m}^3/\text{s}$	42
Gambar 47 Hubungan putaran turbin terhadap efisiensi pada debit aliran $0,009\text{m}^3/\text{s}$	
Gambar 48 Hubungan putaran turbin terhadap efisiensi pada debit aliran $0,012\text{m}^3/\text{s}$	

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai debit dan kecepatan aliran	31
Tabel 2 Hasil pengujian turbin 5, 6, 7, 8 dengan variasi debit aliran $0,008\text{m}^3/\text{s}$	32
Tabel 3 Hasil pengujian turbin 5, 6, 7, 8 dengan variasi debit aliran $0,009\text{ m}^3/\text{s}$	33
Tabel 4 Hasil pengujian turbin 5, 6, 7, 8 dengan variasi debit aliran $0,012\text{m}^3/\text{s}$	34

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari hampir seluruh aktivitas manusia membutuhkan energi. Sebagian besar energi di Indonesia masih berasal dari energi fosil yang berupa gas alam dan minyak bumi. Energi fosil tersebut sangat dibutuhkan sebagai bahan bakar kendaraan dan pembangkit listrik. Akibat pertumbuhan industriomotif dan perkembangan manusia menyebabkan pasokan energi fosil semakin menipis. Oleh sebab itu maka perlu dipikirkan untuk mencari energi alternatif.

Dari permasalahan di atas maka harus difikirkan berbagai opsi lain demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi fosil. Hal tersebut membuat berbagai negara berbondong-bondong mencari energi yang terbarukan dan tentunya ramah lingkungan dalam skala besar. Namun saat ini banyak sekali energi-energi alternatif belum dimaksimalkan dalam pemanfaatannya untuk kebutuhan.

Turbin air merupakan sebuah mesin konversi energi pembangkit listrik dengan cara kerja merubah energi potensial aliran air menjadi energi mekanik yang menggerakkan generator sehingga menghasilkan daya listrik. Turbin air ini menggunakan aliran sungai dengan *head* tinggi, sehingga menghasilkan gerak mekanik turbin. Namun, aliran sungai *head* rendah belum dimanfaatkan secara optimal untuk pembangkit listrik.

Pemanfaatan energi aliran air sumber *head* yang rendah dapat dimanfaatkan dengan jenis turbin pusaran (*vortex*) gravitasi. Turbin ini terdiri dari *runner* dan tangki sirkulasi (sumber air). Pada penelitian ini berfokus pada membahas tentang pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin *vortex* untuk pembangkit listrik.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian Christina (2022) yang telah melakukan perancangan model turbin *vortex* untuk sistim pembangkit listrik skala laboratorium. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan jumlah sudu 4, 5, dan 6 buah sudu. Hasil pengujian yang dilakukan diperoleh nilai efisiensi untuk 4 sudu adalah 19,6%, untuk jumlah 5 sudu diperoleh nilai efisiensi 12,5%, dan pada 6 sudu nilai efisiensinya yaitu 22%.

Berdasarkan dari hasil pengujian tersebut belum diperoleh jumlah sudu yang optimal untuk pengoprasian turbin. Oleh sebab itu maka pada penelitian ini akan dikaji secara eksperimen pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin *vortex* sehingga diperoleh jumlah sudu yang optimal untuk pengoprasian pada turbin *vortex* tersebut.

1.2. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap karakteristik unjuk kerja turbin *vortex* diperoleh dengan:

1. Mengetahui hubungan putaran turbin (rpm) terhadap torsi (N)
2. Mengetahui hubungan putaran turbin (rpm) terhadap daya poros (watt)
3. Mengetahui hubungan putaran turbin (rpm) terhadap efisiensi (η)

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah sudu yang digunakan bervariasi 5, 6, 7, dan 8 buah.
2. Bentuk sudu yang digunakan yaitu bentuk sudu yang digunakan oleh Christina (2022).
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi debit aliran air.

1.4. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada laporan penelitian ini terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini berisikan latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjabarkan pengklasifikasian turbin, dan studi literatur tentang penentuan jumlah sudu, dan dimensi sirkulasi serta bentuk dan dimensi sudu turbin.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu, tempat penelitian, beserta langkah- langkah dalam melakukan proses penelitian dan pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tabel, grafik, dan pembahasan hasil proses pengujian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran selama penelitian dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Turbin Air

Turbin air adalah turbin yang menggunakan fluida kerja air. Sedangkan turbin itu sendiri adalah alat mekanik yang mengubah energi fluida menjadi putaran poros. Turbin terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap atau *stationary blade* berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menghasilkan gaya yang memutar poros. Sudut aliran yang sesuai dapat meminimalkan *losses* dan mempercepat putaran turbin (Akbar, 2018).

Turbin air merupakan salah satu turbin yang digunakan untuk memutar sebuah generator untuk menghasilkan energi listrik yang digunakan aliran fluida pada kecepatan tertentu untuk menghasilkan energi mekanis putar pada turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem kerja pada turbin air yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) karena dengan mengamati pengaruh variasi laju aliran (debit) air terhadap daya generator yang dapat dihasilkan oleh generator (Muis, 2010).

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik untuk merancang pembangkit menggunakan turbin air memerlukan rancangan yang sangat spesifik yaitu pada dimensi kincirnya, debit aliran dan tingginya untuk memaksimalkan kerja dari turbin tersebut. Turbin adalah bagian terpenting dari pembangkit listrik. Pada turbin aliran air diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar rotor. Dengan *belt*, *pulley* ataupun *gearbox* pada rotor dihubungkan dengan generator yang akan mengubah putaran yang dihasilkan menjadi energi listrik (Nugroho, 2015).

Fluida sebagai peran penting dalam kinerja turbin air yaitu aliran fluidanya. Fluida akan mengalir dari dataran tinggi ke dataran yang lebih rendah sehingga menghasilkan perbedaan ketinggian yang mengakibatkan energi potensial. Kemudian dari turbin akan mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, yang akan menghantam penampang di baling-baling turbin sehingga turbin tersebut terdorong bergerak memutar lalu pada poros dihubungkan kegenerator yang bertujuan untuk menghasilkan energi listrik.

2.1.1 Berdasarkan tingkatan ketinggian *head* setiap turbin maka turbin di klasifikasikan menjadi 4 yaitu:

a. Turbin *head* sangat rendah

Turbin yang memiliki *head* sangat rendah memiliki ketinggian $\leq 4\text{m}$, jika ketinggian *head* hanya 4m biasanya turbin yang digunakan berjenis *Propeller, Kaplan*.

b. Turbin *head* rendah

Turbin yang memiliki *head* yang rendah memiliki ketinggian 5-10m, biasanya jenis turbin yang digunakan turbin *Crossflow*.

c. Turbin *head* sedang

Turbin yang memiliki *head* yang sedang memiliki ketinggian kurang lebih 20-100m, biasanya jenis turbin dengan *head* sedang memakai jenis turbin *Pelton*.

d. Turbin *head* tinggi

Turbin yang memiliki *head* yang tinggi memiliki ketinggian 100m, dan jenis turbin yang digunakan pada *head* ini adalah turbin *Pleton* dan *Turgo*.

Secara umum pengklasifikasian turbin ada dua yaitu turbin reaksi dan turbin *implus*, dimana turbin reaksi adalah turbin yang memiliki *head* rendah dan laju aliran tinggi, sedangkan turbin *implus* adalah turbin yang membutuhkan *head* tinggi dan laju aliran rendah (Fox, 2004). Berdasarkan cara penggunaannya turbin diklasifikasikan dalam beberapa jenis turbin seperti berikut:

a. Turbin reaksi

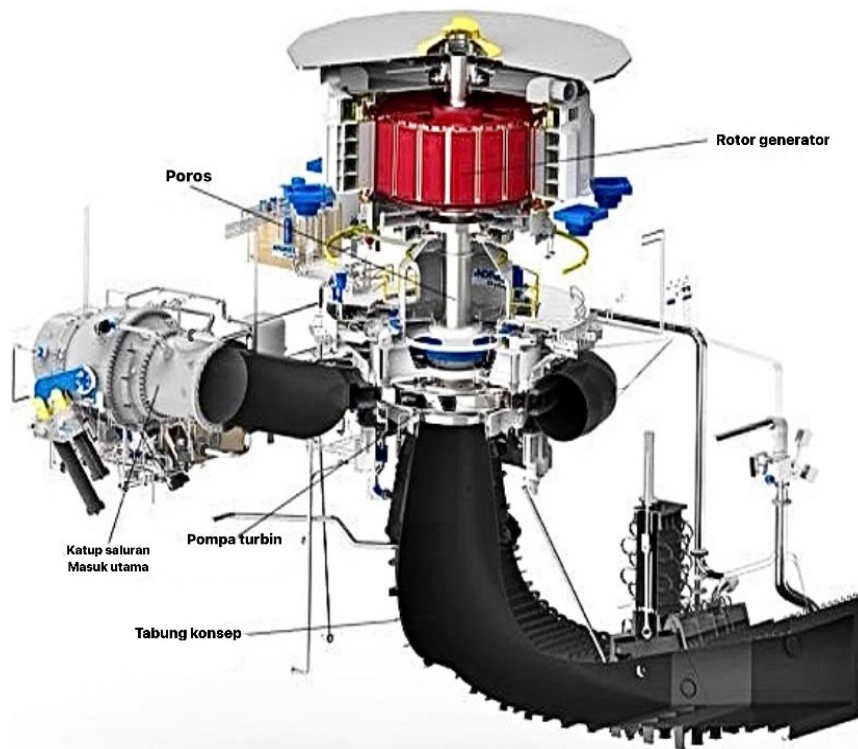
Pada turbin reaksi ini memakai air dengan *head* sedang, yang arah masuk alirannya yaitu *mixedradial*. Turbin reaksi adalah turbin yang

cara kerjanya merubah seluruh energi air yang menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini sangat banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi ini mempunyai profil khusus yang dapat menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan air selama melalui sudu.

Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga bagian turbin yang berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin (Saputra, 2018).

Oleh karena itu putaran *runner* menyebabkan perubahan momentum oleh air tersebut. Salah satu contoh turbin reaksi adalah turbin Francis dan Kaplan (*propeller*), *Darrieus* (Patty, 1995).

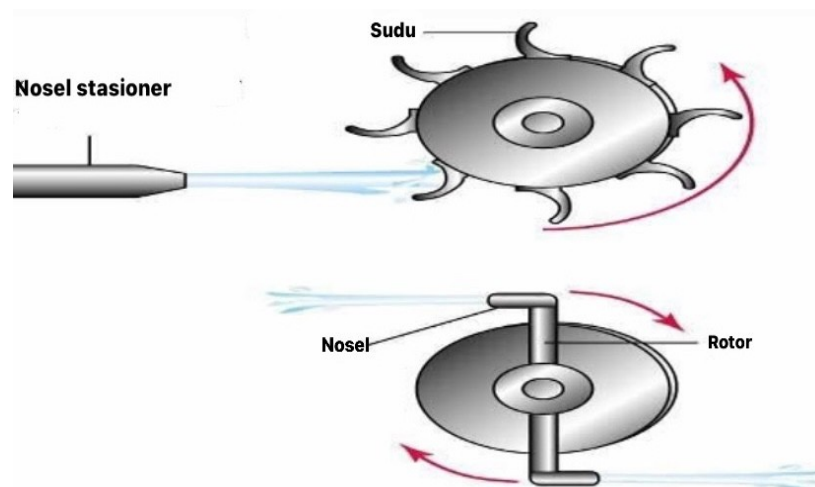
Contoh turbin Francis diperlihatkan pada gambar 1 dibawah yang menjelaskan nama-nama *part* yang terdapat pada turbin francis adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Turbin Francis (Hidayat, 2019)

b. Turbin *impuls*

Turbin *impuls* adalah turbin air yang memiliki tekanan sama di setiap sudutnya (*runner*). Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozzle* yang disemburkan. Air keluar *nozzle* yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin yang mengakibatkan tekanan pada sudu. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadinya perubahan momentum (*impuls*). Akibatnya roda turbin akan terdorong berputar. Jenis dari turbin impuls menjadi 3 jenis yaitu turbin *Pelton*, turbin *Turgo* dan turbin *Crossflow*.

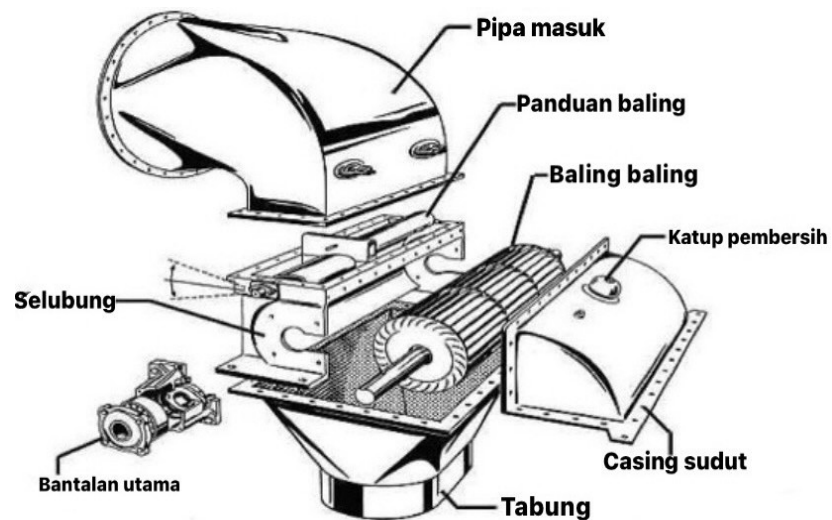


Gambar 2 Turbin *impuls* dan proses (Jokosetyo,2006)

c. Turbin *Crossflow*

Pada turbin ini 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/sec sehingga 10 liter/sec dan *head* antara 1 s/d 200m.

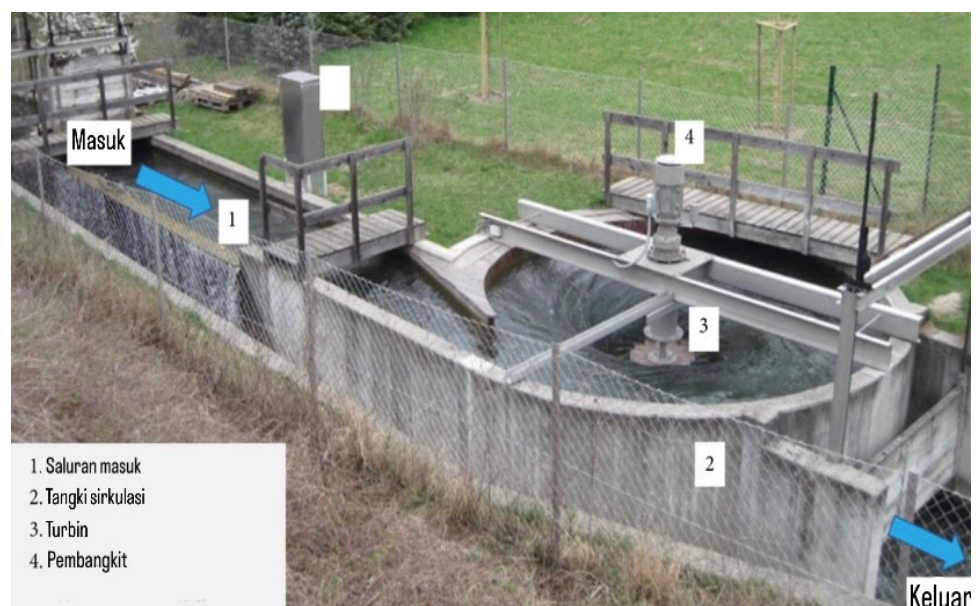
Aliran air dilewatkan melalui sudu-sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder keluar melalui sudu-sudu. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder dan air keluar silinder.



Gambar 3 Turbin *Crossflow* (Gibran, 2014)

2.2. Sistem Pembangkit Listrik Turbin *Vortex*

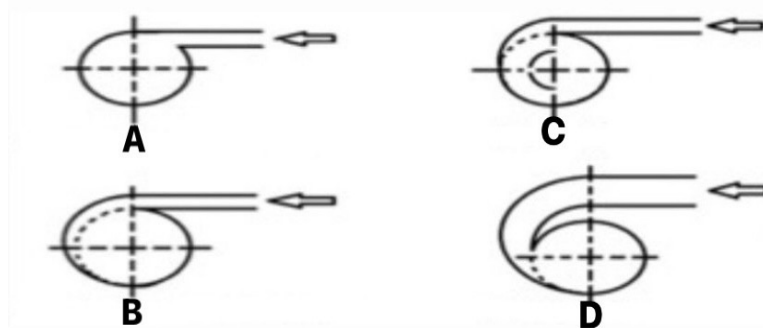
Pembangkit listrik turbin air pada prinsipnya memanfaatkan benda ketinggian jatuh air (*head*) dan jumlah debit aliran air yang disalurkan. Air mengalir selanjutnya menggerakkan sebuah turbin yang dimana turbin dihubungkan dengan generator bertujuan dapan menghasilkan energi listrik. Selain itu terdapat komponen-komponen. Gambar 4 memperlihatkan komponen-komponen pada sistem pembangkit listrik turbin *vortex*:



Gambar 4 Sistem pembangkit listrik turbin *vortex* (perdana, 2022)

2.2.1. Saluran masuk

Terdapat beberapa jenis saluran pada aliran masuk (*inlet area*), sebagai tujuan untuk meningkatkan sebuah kinerja pada turbin dan efisiensi sudu turbin



Gambar 5 Jenis-jenis saluran masuk turbin *vortex* (Gibram, 2015)

Keterangan gambar:

- A : *Outer wall tangential*
- B : *Ramped entry or scrolled evolte*
- C : *Involute*
- D : *Involute Ramp*

Dimensi saluran masuk ditetapkan berdasarkan ukuran dari tempat pengujian dan debit aliran air yang akan disuplai. Pada supalaian saluran masuk dan tangki terdapat sudu pengarah yang diameternya sama dengan saluran keluar air atau diameter bagian bawah pada tangki sirkulasi dan menurut penelitian yang dilakukan oleh Huda dan Prastyo (2017) yang menyatakan bahwa berpengaruh sudu pengarah terhadap efisiensi pada sudu. Hal ini karena dengan meningkatkan sudu pengarah aliran air yang masuk menjadi kecil, sehingga aliran air dapat membentuk sebuah pusaran dahulu sebelum menyentuh bagian sudu turbin. Diameter yang sama antara saluran masuk dan saluran keluar air membuat laju aliran masuk dan keluar air sama.

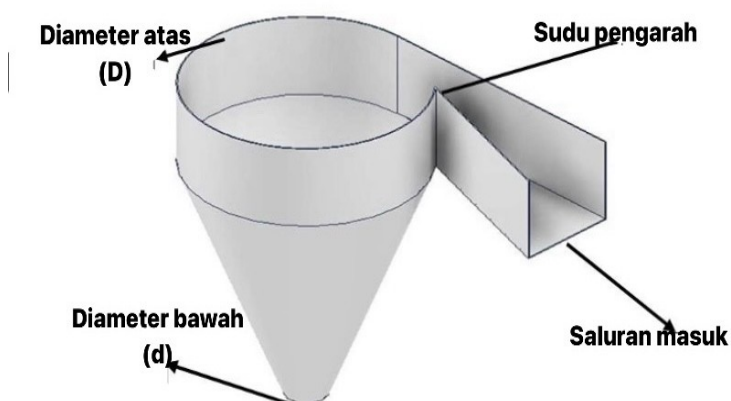
2.2.2. Tangki Sirkulasi

Pada pembangkit listrik dengan menggunakan turbin *vortex* laju aliran masuk adalah air yang dialirkan ke saluran yang terhubung ke tangki sirkulasi. Saluran itu berfungsi untuk mengarahkan aliran air ke dalam

bak secara tangensial horizontal atau miring pada sudut yang diinginkan. Bentuk saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) juga mempengaruhi kecepatan aliran pusaran sehingga parameter ini harus ekstensif untuk menghasilkan pusaran air yang lebih efektif.

Desain tangki sirkulasi mampu mempengaruhi bentuk aliran pusaran gravitasi yang dapat digunakan untuk sumber energi alternatif atau terbarukan. Air masuk ke dalam tangki sirkulasi melingkar secara tangensial yang menciptakan pusaran bebas dan energi diekstraksi dari pusaran bebas dengan menggunakan turbin. Desain tangki sirkulasi yang banyak digunakan yaitu kerucut dan silinder.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wanchat dan Sutivarakorn (2013) yang menyatakan bahwa bentuk dari tabung sirkulasi akan mempengaruhi aliran *vortex* pada turbin. Penelitian ini juga menyatakan bahwa parameter pada tabung sirkulasi seperti bentuk tabung sirkulasi, diameter aliran masuk dan keluar air, dan tinggi tabung sirkulasi dapat menentukan besar energi kinetik yang dapat dihasilkan. Skema tangki sirkulasi dan saluran masuk dapat dilihat pada gambar 6.



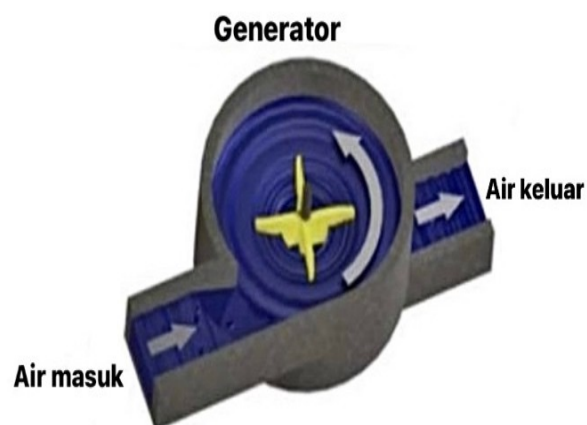
Gambar 6 Skema tangki sirkulasi pada turbin *vortex* (Christina, 2022)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wanchat, dkk (2013) yang menggunakan diameter tabung silinder sirkulasi sebesar 0.10m sampai 0.40m didapatkan dengan menggunakan diameter 0.2 m akan dihasilkan daya keluar sebesar 60W, tinggi aliran *vortex* sebesar 0.40

m dan menghasilkan efisiensi sebesar 30%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sagar, dkk (2014) yang menyatakan bahwa turbin *vortex* dengan bentuk tangki sirkulasi kerucut akan meningkatkan kecepatan air keluar turbin. Kecepatan terbesar didapatkan dari rasio diameter atas tangki sirkulasi (D) dan diameter bawah (d) antara 14% - 18% dengan derajat kemiringan pada tangki sirkulasi kerucut sebesar 23° dan diameter sebesar 80 cm yang menghasilkan efisiensi sebesar 36,84%.

2.2.3. Turbin *Vortex*

Turbin *vortex* biasa disebut dengan *Gravitation Water Vortex Power Plant* (GWVPP) yang ditemukan oleh Frans Zotleterer berasal dari Australia. *Gravitasi Water Vortex Power Plant* adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan tenaga aliran air *head* rendah. *Gravitasi Water Vortex Power Plant* merupakan PLTA mikro yang memanfaatkan energi dari pusaran air yang terbentuk dalam wadah silinder. *Gravitasi Water Vortex Power Plant* salah satu alternatif terbaik untuk menghindari dampak negatif akan pengembangan PLTA, Franz Zotlereer menciptakan kembali *Gravitation Water Vortex Power Plant* pada tahun 2006 ketika ia mencari cara untuk menganginkan sungai tidak aktif. Sebuah terdiri dari penstock yang terhubung ke wadah tangensial silinder, dibagian bawah terdapat *outlet* agar berhasil membuat suatu *vortex* yang akan memutar sebuah turbin (Cyclotron, 2020).



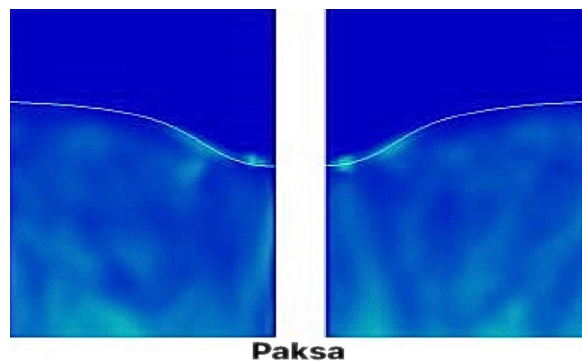
Gambar 7 Skema sistim pembangkit listrik turbin *vortex* (Power, 2016)

Prinsip kerja turbin *vortex* adalah air memasuki sebuah *inlet* yang berukuran besar dan bergerak melalui sebuah saluran menuju sebuah tangki sirkulasi berbentuk lingkaran, kemudian air bergerak secara tangensial. Dibawah tangki sirkulasin terdapat lubang keluar untuk keluarnya air dimana diameter pada *outlet* lebih kecil dibanding diameter *inlet*.

Pusaran air akan terbentuk didalam tangki sirkulasi ketika air mengalir menuju *outlet* akibat adanya gravitasi. Turbin *vortex* ini tidak bergerak karena adanya perbedaan tekanan namun bergerak karena gaya dinamik pada *vortex* (Dhakal, 2015). Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. *Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh didalam aliran *vortex* dibagi menjadi 2 yaitu:

a. Aliran *vortex* paksa

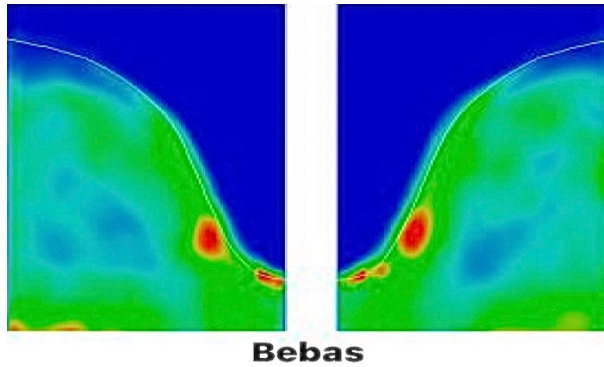
Jika suatu gaya diberikan pada suatu fluida dengan tujuan membuat aliran fluida berputar yang muncul dikarenakan adanya gaya dari luar mempengaruhi fluida.



Gambar 8 Aliran *Vortex* Paksa

b. Aliran *vortex* bebas

Aliran *vortex* bebas yaitu aliran yang terjadi walaupun tidak adanya gaya yang dilakukan pada fluida tersebut. Karakteristik dari *vortex* bebas adalah kecepatan tangensial dari partikel fluida yang berputar pada jarak tertentu dari pusat *vortex*.



Gambar 9 Aliran *Vortex* Bebas

2.3. Persamaan Dasar Aliran

1. Pengukuran Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan aliran air dilakukan untuk mengetahui besar daya air yang keluar dari turbin. Kecepatan aliran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$U = \frac{Q}{\Delta t} \quad (1)$$

Dimana :

U	: Kecepatan aliran (m/s)
Q	: Debit aliran air (m ³ /s)
Δt	: Rata-rata waktu (s)

2. Daya *Hydro*

Daya *hydro* yang dapat dihasilkan oleh turbin sesuai dengan kapasitas tinggi jatuh air. Daya *hydro* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Ph = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

Dimana :

Ph	: Daya <i>hydro</i> (watt)
γ	: Berat jenis air (kg/m ² .s ²)
Q	: Debit air (m ³ /s)
H	: <i>Head vortex</i> (m)

3. Perhitungan Daya Turbin

Pengukuran putaran turbin dilakukan untuk mengetahui putaran poros turbin yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui besar daya poros turbin. Alat yang digunakan dalam menghitung putaran turbin adalah *tachometer*.

$$P_t = \frac{2\pi N T}{60} \quad (3)$$

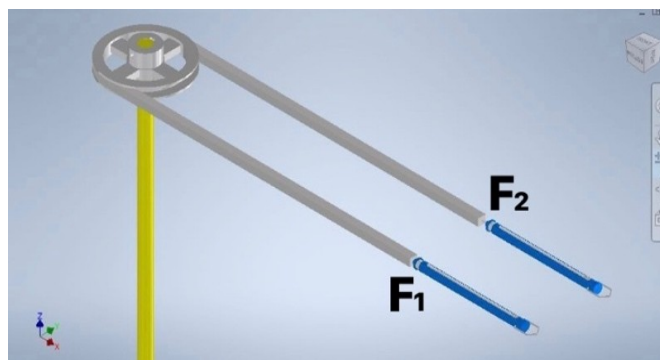
Dimana :
 Pt : Daya turbin (*watt*)
 N : Putaran turbin (rpm)
 T : Torsi (Nm)

4. Pengukuran putaran turbin

Pengukuran putaran turbin dilakukan untuk mengetahui putaran poros turbin yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui besar daya poros turbin. Alat yang digunakan dalam menghitung putaran turbin adalah *tachometer*.

5. Pengukuran Torsi

Torsi turbin dapat diukur dengan melakukan pengereman terhadap turbin saat berputar dengan metode sistem pengereman sabuk. Sistem pengereman sabuk menggunakan neraca pegas sebagai pengukur besar tegangan tali yang diberikan.



Gambar 10 Alat ukur torsi

Besar torsi dihitung dengan menggunakan selisih tegangan tali antara sisi ketat dan sisi kendur yang merupakan gaya (F) pengereman yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$T = \sum F \cdot r \quad (4)$$

Sehingga daya turbin (P_t) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (5)$$

Dimana :

- ΣF : $F_2 - F_1$ (N)
- r : Jari-jari *pulley* pengereman (m)
- P_t : Daya poros turbin (*watt*)
- T : Torsi turbin (Nm)
- ω : Kecepatan sudut turbin (rad/s)

6. Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin dapat dicari dengan persamaan (Bruce, 2006)

$$\eta = \frac{P_t}{P_h} \cdot 100\% \quad (6)$$

Dimana :

- η : Efisiensi
- P_t : Daya turbin (*watt*)
- P_h : Daya *hydro* (*watt*)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan berbagai alat bahan dalam pembuatan dan pengujian pada turbin *vortex*. Adapun alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Bahan pembuatan turbin *vortex*

Bahan yang digunakan dalam pembuatan turbin *vortex* adalah:

a. Plat besi

Plat besi merupakan sebagai bahan utama pembuatan sudu turbin.



Gambar 11 Plat besi

b. Poros

Poros digunakan berfungsi sebagai penyambung sudu turbin dan *pulley*.



Gambar 12 Poros

c. Pipa besi

Pipa besi digunakan sebagai badan terletaknya sudu-sudu turbin *vortex*.



Gambar 13 Pipa besi

d. *Bearing* atau bantalan

Bantalan turbin berfungsi sebagai dudukan atau penompang turbin, sehingga putaran gerakan bolak-balik dapat berlangsung.



Gambar 14 *Bearing*

e. *Pulley*

Pulley berguna sebagai komponen atau penghubung putaran yang kemudian diteruskan dengan menggunakan sabuk ke beban.



Gambar 15 *Pulley*

2. Alat pembuatan turbin *vortex*

Alat yang digunakan dalam pembuatan turbin *vortex* adalah:

a. Mesin gerinda

Mesin gerinda berguna sebagai alat pemotongan pada saat pembuatan spesimen.



Gambar 16 Mesin gerinda

b. Mesin las

Las berguna sebagai alat penyambung antara spesimen satu dengan lainnya sebagai contoh penyambungan antara sudu dengan badan poros turbin *vortex*.



Gambar 17 Mesin las

c. Mesin rol

Mesin rol berguna untuk membentuk sebuah plat besi melengkung yang akan dijadikan sudu turbin.



Gambar 18 Mesin rol

d. Cetakan sudu

Cetakan sudu digunakan untuk membentuk sudu dengan radius yang diinginkan.



Gambar 19 Cetakan sudu

3. Alat ukur dan perlengkapan untuk pengujian unjuk kerja turbin *vortex*.
Alat yang digunakan dalam pengujian model unjuk kerja turbin *vortex* adalah sebagai berikut:

a. Pompa air

Pompa sebagai alat untuk sirkulasi air saat pengujian ke tangki penampungan (*Reservoir*).



Gambar 20 Pompa air

b. *Tachometer*

Tachometer berguna untuk mengukur kecepatan putaran pada turbin.



Gambar 21 *Tachometer*

c. Gelas ukur

Gelas ukur sebagai pengukur debit air saat pengujian



Gambar 22 Gelas ukur

d. *Waterpass*

Waterpass digunakan untuk mengetahui posisi dari suatu benda tersebut baik dalam keadaan vertikal dan horizontal.



Gambar 23 *Waterpass*

e. Meteran

Meteran berguna sebagai alat pengukur panjang sebuah benda kerja.



Gambar 24 Meteran

f. Sabuk

Sabuk adalah bahan fleksibel yang melingkar tanpa ujung, yang digunakan untuk menghubungkan secara mekanis dua poros yang berputar.



Gambar 25 Sabuk

g. Neraca pegas

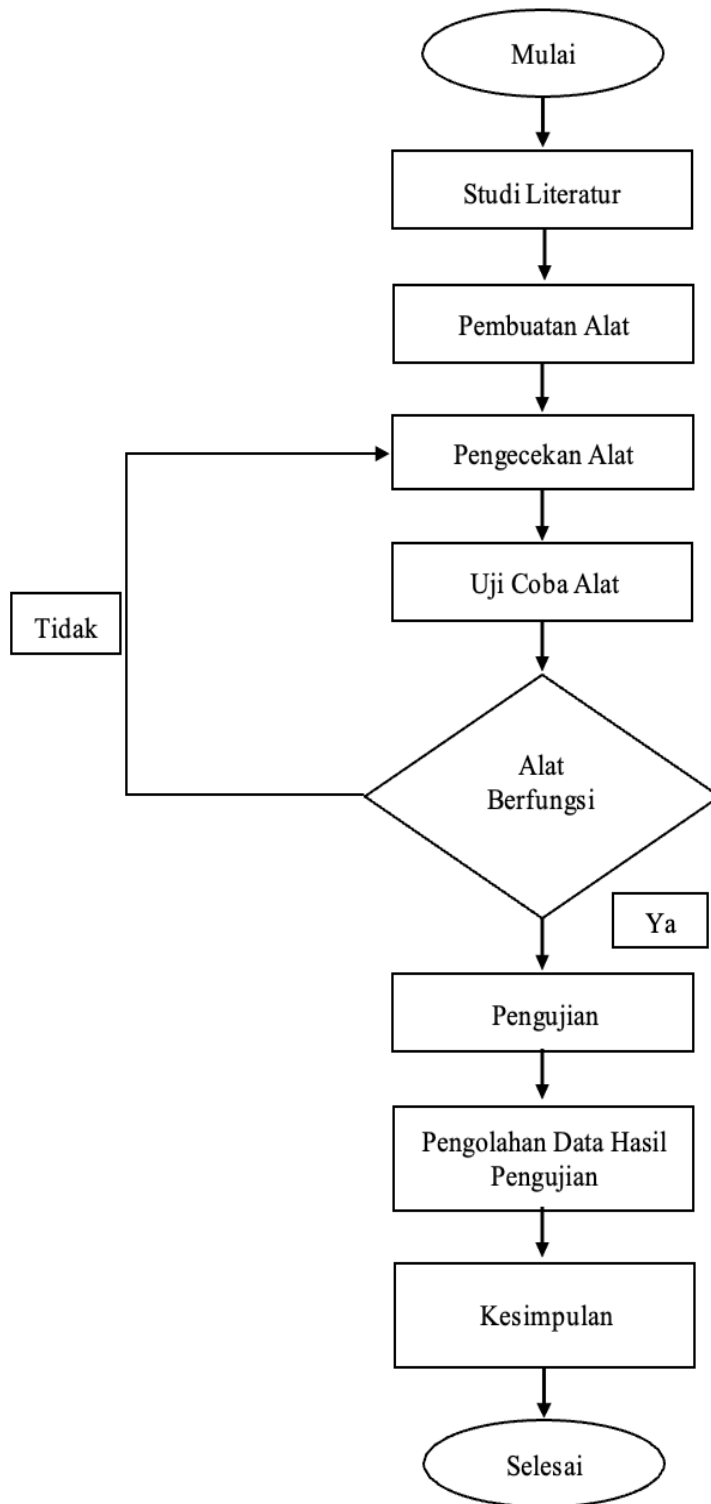
Neraca pegas untuk melakukan pengukuran massa dan daya suatu benda.



Gambar 26 Neraca pegas

3.3. Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar proses pembuatan tugas akhir ini diperlihatkan pada gambar 27 :



Gambar 27 Diagram Alir Penelitian

3.4. Pembuatan Turbin *Vortex*

Pembuatan turbin *vortex* ini dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

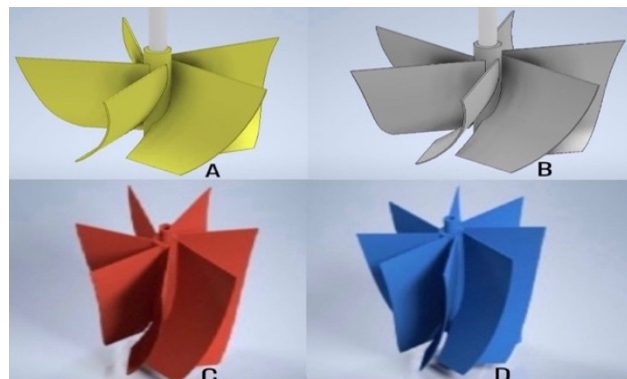
Persiapan ini dilakukan studi literatur dan melengkapi bahan dan alat yang dibutuhkan dalam pembuatan turbin *vortex*.

2. Tahap Pembuatan turbin *vortex*.

Tahap Pembuatan ini dilakukan dengan pembuatan model turbin *vortex* dengan bervariasi jumlah sudu yaitu 5, 6, 7 dan 8 buah dengan bentuk sudu yang digunakan sesuai dengan saudara (Christina, 2022)

Tahapan yang dilakukan dalam proses perancangan komponen- komponen model turbin *vortex* adalah sebagai berikut:

- a. Pada pembuatan model turbin *vortex* ini digunakan 4 variasi yang dimana dapat dilihat pada gambar 28:

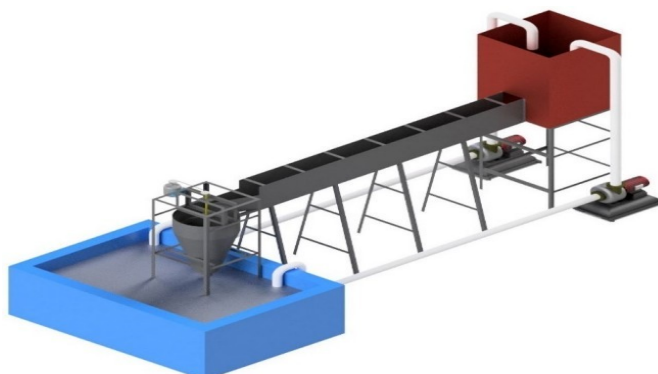


Gambar 28 Sudu turbin *vortex* 5, 6, 7, dan 8.

3.5. Pembuatan Sistem Alat Pengujian

Skema alat pengujian dapat dilihat pada gambar 31. Dimana komponen-komponen sistem pembangkit listrik turbin *vortex* terdapat pompa air untuk menaikkan air ke dalam tangki *reservoir* lalu dialirkan melewati saluran air menuju ketangki sirkulasi, didalam tangki sirkulasi terdapat turbin yang

memanfaatkan pusaran air gravitasi yang biasa disebut *water vortex* dimana disitu terjadi fenomena *water vortex* yang biasa disebut pemanfaatan energi air sistem pembangkit listrik turbin *vortex*.



Gambar 29 Desain skema model alat uji pembangkit listrik turbin *vortex*

3.6. Pengujian Dan Pengambilan Data

Skema alat pengujian alat uji dapat dilihat pada gambar 29. Pengujian model turbin *vortex* dilakukan untuk memperoleh data pengujian sehingga diperoleh unjuk kerja turbin. Adapun data yang akan diambil dalam pengujian turbin *vortex* di laboratorium adalah debit aliran air, putaran turbin (rpm), torsi turbin (Nm), dan *head vortex* (cm). Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian model turbin *vortex* di laboratorium mekanika fluida adalah sebagaiberikut:

1. Pompa air dihidupkan yang bertujuan untuk mengalirkan air kedalam tangki *reservoir*
2. Katup pada saluran air dibuka pada *reservoir* yang di variasikan 3 tinggi aliran air yaitu 12cm,17cm dan 20cm.
3. Setelah *gate* dibuka lalu melakukan pengukur debit pada setiap level ketinggian air dengan menggunakan ember yang sudah diukur volume nya dengan gelas ukur.
4. Pemasangan turbin didalam tangki sirkulasi.
5. Pengukur torsi turbin dengan membaca gaya-gaya pengeremam pegas F_1 dan F_2 .

6. Mengukur tinggi alir *vortex* dengan menggunakan meteran bertujuan untuk mengetahui *head vortex*.
7. Setelah turbin beroperasi dilakukan pengukuran putaran pada turbin (rpm) menggunakan *tachometer*, beban turbin, tinggi *head vortex*, dan gaya yang ada pada alat pengukur torsi yaitu F_1 dan F_2 .

3.7. Pengolahan data

Data dari hasil pengujian kemudian dihitung untuk mengetahui besar daya *hydro* (P_h), daya turbin (P_t), dan efisiensi turbin (η_t). Daya *hydro* diperoleh dari data debit pada saluran air yang kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan 2 ($P_h = \gamma \cdot Q \cdot H$). Daya turbin diperoleh dari data torsi dan kecepatan sudut yang dihitung dengan menggunakan persamaan 3 ($P_t = 2\pi \cdot N \cdot T : 60$) dan persamaan 4 ($T = \Sigma F \cdot r$). Efisiensi turbin diperoleh perbandingan antara daya turbin dan daya *hydro* yang kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan 6. ($\eta = p_t/p_h \cdot 100\%$)

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Keimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik unjuk kerja turbin *vortex* dipegaruhi oleh jumlah sudu dan debit aliran air.
2. Daya poros maksimum terdapat pada turbin 7 buah sudu dimana hasil pengujian pada debit aliran $0,009\text{m}^3/\text{s}$ diperoleh nilai daya poros $28,55\text{watt}$, pada kecepatan turbin 113rpm.
3. Torsi maksimum yang dihasilkan pada turbin 7 buah sudu dimana dari hasil pengujian pada debit aliran $0,009\text{m}^3/\text{s}$ diperoleh nilai torsi 2,1Nm kecepatan putaran turbin 109rpm.
4. Diketahui efisiensi terbaik terdapat pada turbin dengan jumlah 7 buah sudu sebesar 28,22%, dibandingkan dengan jumlah sudu lainnya. Hal ini dikarenakan faktor posisi sudu yang terpasang pada turbin yang tidak simetris menjadikan gaya hambat negatif relatif kecil dan jarak antara sudu mempunyai kerenggangan yang menjadikan aliran dapat mengalir dan menerpa sudu lainnya, hal ini akan meningkatkan gaya momen pada aliran turbulensi relatif kecil.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini dan penelitian ini adalah:

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan pengujian variasi bentuk sudu yaitu *with straight, twisted, curved* dan *angled blade*, bertujuan untuk mengetahui kinerja model sudu turbin terbaik.
2. Diharapkan pada penelitian selanjutnya memvariasikan tinggi sudu turbin sehingga diperoleh tinggi sudu yang optimal.
3. Diharapkan pada penelitian selanjutnya memvariasikan diameter turbin yang memberikan hasil kerja yang maksimal.
4. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya yaitu tentang penelitian atau variasi sudu pengarah aliran masuk ke tangki sirkulasi yaitu *outer wall tangential, ramped entry or scrolled evolte, involute* dan *involute ramp*.
5. Diharapkan pada penelitian selanjutnya pengambilan data dilakukan secara digital dan simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- (A Muis) – JURNAL ILMIAH MATEMATIKA DAN TERAPAN, 2010. Jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Akbar, 2018. Pengaruh Sudut Pengarah Aliran pada Turbin Air.
- CYCLOTRON VOLUME 3 NOMOR 2, JULI 2020. Eksperimen Variasi Tabung Basin Silinder Pada *Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP)* Berbasis Basin Silinder.
- Christina, 2022. Rancang bangun model turbin vortex untuk pembangkit listrik tenaga air skala laboratorium. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Dhakil S, 2015. *Comparision of conical basin and cylindrical basin with optimum position of runner: gravitational water vortex power plant. Renew Sustain Energy Rev* 48:662–669.
- Daugherty, R.L dan Franzini, J.B. (1977). *Fluid Mechanics With Engineering Applications Sevent Edition*. Hal 110.
- Hidayat, 25 september 2019. Mengenal turbin PLTA prinsip kerja, jenis dan pemeliharaan.
- Ir.m.J.Djokosetyarjo (Ketel Uap Chapter I 2006).
- Luther, 30 Desember 2021. Kinerja Kincir Angin Sumbu Vertikal dengan Model Sudu Bengkot 90⁰ Untuk Variasi Jumlah Sudu (2, 3, dan 4 sudu) Frans Robert Bethoni, Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Toraja.
- Nugroho, 2015. Pengembangan terhadap turbin air
- Perdana, juli 2022. *Gravitation water vortex power plant* PLTA hemat tempat dan murah.

- Patty, 1995. Turbin Francis dan Kaplan (*propeller*), Darrieus. Prof.B.S. Thandaveswara, 2009. *Indian institute of technology madras*.
- Power C, McNabola A and Coughlan P. 2016. *A Parametric Experimental investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex hydropower. Journal of Clean Energy Technologies*.
- R.Hengki, ANALISIS EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN VORTEX AKIBAT PERUBAHAN TINGGI IMPELLER TIPE SUDU BERPENAMPANG LURUS Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam "45" Bekasi Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Bekasi Tim., Kota Bks, Jawa Barat.
- Saputra, (2018) Analisa Pengaruh Diameter Sudu Pengarah dan Debit Aliran Air Terhadap Performa Turbin.
- Suwarti Jurnal, 3 September 2015. KARAKTERISTIK TURBIN KAPLAN PADA SUB UNIT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR KEDUNGOMBO Mulyono, Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.