

RANCANG BANGUN DAN UJI UNJUK KERJA TURBIN  
VORTEX MENGGUNAKAN DUA TIPE PENAMPANG SUDU



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit  
Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

MUH. HAMKA BIL HAKKI 442 18 015  
SUKADDIN 442 18 023

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2022

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Rancang Bangun Dan Uji Unjuk Kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu" oleh mahasiswa atas nama Muh. Hamka Bil Hakki, NIM 442 18 015 dan Sukaddin, NIM 442 18 023 telah siap untuk diujikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 19 September 2022

Mengesahkan,

Pembimbing I

*Handwritten signature: Firman*  
Dr. Ir. Firman, M.T.

NIP. 19641231 199103 1 028

Pembimbing II

*Handwritten signature: Sri Suwasti*  
Sri Suwasti, S.T., M.T.

NIP. 19741123 200112 001

Mengetahui,

*Handwritten signature: Chandra Bhuana*  
Koordinator Program Studi  
Chandra Bhuana, M.T.  
NIP. 19630319 199103 1 003



## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin, 26 September 2022, tim penguji seminar skripsi telah menerima hasil seminar skripsi oleh mahasiswa : Muh. Hamka Bil Hakki NIM 442 18 015 dan Sukaddin NIM 442 18 023 dengan judul "Rancang Bangun Dan Uji Unjuk Kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu".

Makassar, 14 September 2022

### Tim Penguji Seminar Skripsi:

1. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.	Ketua	(.....)
2. Ir. Chandra Bhuana, M.T	Sekretaris	(.....)
3. Prof. Ir. Makmur Saeni, M.T. Ph.D.	Anggota	(.....)
4. Ir. La Ode Musa, M.T.	Anggota	(.....)
5. Dr. Ir. Firman, M.T.	Pembimbing I	(.....)
6. Sri Suwasti, S.T.,M.T.	Pembimbing II	(.....)

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muh. Hamka Bil Hakki

Nim : 442 18 015

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Rancang Bangun dan **Rancang Bangun Dan Uji Unjuk Kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu**” merupakan gagasan hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 19 September 2022



Muh. Hamka Bil Hakki  
NIM : 442 18 015

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sukaddin

Nim : 442 18 023

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Rancang Bangun dan **Rancang Bangun Dan Uji Unjuk Kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu**” merupakan gagasan hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 19 September 2022



Sukaddin

NIM : 442 18 023

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan pertolongan-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Rancang Bangun Dan Uji Unjuk Kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu" dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami;
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang kepada Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin kepada Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D;
4. Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi kepada Bapak Ir. Chandra Buana, M.T.
5. Bapak Dr.Ir. Firman, M.T. sebagai Pembimbing I telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Ibu Sri Suwasti, S.T.,M.T. sebagai Pembimbing II telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
7. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Khususnya Dosen pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi;
8. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri ujung Pandang.

9. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2018 yang telah membantu dan memberikan dukungannya;
10. Buat semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 20 September 2022

Penulis





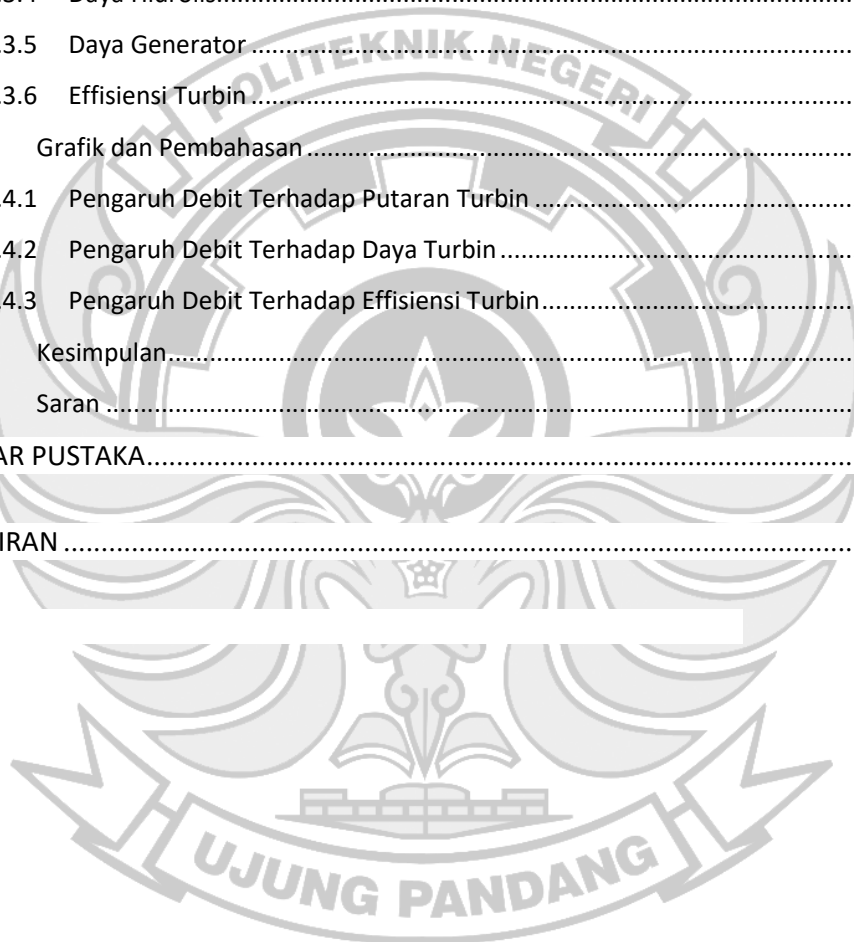
## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PENERIMAAN .....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
RINGKASAN .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	6
2.2 Pengertian Turbin Air.....	7
2.3 Jenis-Jenis Turbin .....	10
2.4.1 Turbin Impuls.....	11



2.4.1.1	Turbin Pelton .....	11
2.4.1.2	Turbin Crossflow .....	12
2.4.2	Turbin Reaksi .....	14
2.4.2.1	Turbin Kaplan .....	14
2.4.2.2	Turbin Francis .....	16
2.4.2.3	Turbin Vortex.....	16
2.4	Prinsip Kerja Turbin Vortex .....	19
2.5	Keunggulan Turbin Vortex .....	19
2.6	Saluran Masuk ( <i>Inlet area</i> ).....	20
2.7	Tipe – Tipe Aliran .....	21
2.8	Persamaan yang Digunakan .....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1	Waktu dan Tempat .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2	Alat yang Digunakan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3	Prosedur Kerja.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4	Perancangan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5	Tahap Pembuatan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6	Pengambilan Data.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7	Parameter Pengujian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>26</b>
4.1	Hasil Pembuatan Alat Pengujian.....	26
4.1.1	Pembuatan Rangka Pengujian.....	26
4.1.2	Pembuatan Rumah Turbin (casing) .....	27
4.1.3	Pembuatan Bak Penampung Inlet .....	28
4.1.4	Pembuatan Saluran Air.....	28
4.1.5	Pembuatan Turbin Vortex .....	29
4.2	Hasil Pengujian.....	33
4.2.1	Hasil Pengujian Turbin Sudu Datar Tanpa Beban.....	33
4.2.2	Hasil Pengujian Turbin Sudu Melengkung Tanpa Beban.....	34
4.2.3	Hasil Pengujian Turbin Sudu Datar Dengan Beban .....	35

4.2.4	Hasil Pengujian Turbin Sudu Melengkung Dengan Beban .....	36
4.3	Pengolahan Data Pengujian .....	37
4.3.1	Debit .....	38
4.3.1	Torsi Turbin.....	38
4.3.2	Kecepatan Sudut Sudu ( $\omega$ ).....	38
4.3.3	Daya Turbin .....	38
4.3.4	Daya Hidrolis.....	39
4.3.5	Daya Generator .....	39
4.3.6	Effisiensi Turbin .....	39
4.4	Grafik dan Pembahasan .....	41
4.4.1	Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin .....	42
4.4.2	Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin .....	45
4.4.3	Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin.....	48
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran .....	52
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN .....		56



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal kerja.....	26
Tabel 3.2 Parameter pengujian.....	36
Tabel 4.1 Spesifikasi turbin .....	42
Tabel 4.2 Hasil pengukuran debit .....	43
Tabel 4.3 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm .....	43
Tabel 4.4 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm .....	43
Tabel 4.5 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm .....	44
Tabel 4.6 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm .....	44
Tabel 4.7 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm .....	44
Tabel 4.8 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm .....	44
Tabel 4.9 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm .....	45
Tabel 4.10 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm .....	45
Tabel 4.11 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm .....	46
Tabel 4.12 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm .....	46
Tabel 4.13 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm .....	47
Tabel 4.14 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm .....	47
Tabel 4.15 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm .....	50
Tabel 4.16 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm .....	50
Tabel 4.17 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm .....	50
Tabel 4.18 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm .....	51
Tabel 4.19 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm .....	51
Tabel 4.20 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm .....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	7
Gambar 2. 2 Skema Turbin Pelton.....	12
Gambar 2.3 Crossflow .....	14
Gambar 2.4 Turbin Kaplan .....	15
Gambar 2.5 Skema Turbin Prancis .....	16
Gambar 2.6 Rentang Aplikasi Turbin.....	17
Gambar 2.7 Skema Turbin Vortex.....	18
Gambar 2.8 Tipe Lubang Masuk Turbin Vortex .....	20
Gambar 2.9 Aliran Laminar.....	21
Gambar 2.10 Aliran Turbulen.....	22
Gambar 2.11 Aliran Transisi.....	22
Gambar 3.1 Skema Rancangan Alat Penelitian .....	27
Gambar 3.2 (a) Pompa Air 1 (b) Spesifikasi Pompa.....	28
Gambar 3.3 (a) Pompa Air 2 (b) Spesifikasi Pompa.....	28
Gambar 3.4 Tachometer.....	29
Gambar 3.5 Multimeter.....	29
Gambar 3.6 Timbangan Digital .....	30
Gambar 3.7 Meteran.....	30
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> Prosedur Kerja.....	32
Gambar 3.9 Desain Turbin Vortex penampang sudu datar.....	33
Gambar 3.10 Desain Turbin Vortex penampang sudu melengkung .....	33
Gambar 3.11 Desain Kerangka Pengujian .....	34
Gambar 4.1 Rangka Pengujian.....	37
Gambar 4.2 Rumah Turbin (casing).....	38
Gambar 4.3 Tipe Saluran Involute.....	38
Gambar 4.4 Bak Penampung Air Inlet.....	39
Gambar 4.5 Saluran air .....	39
Gambar 4.6 Gambar Turbin Vortex Sudu Penampang Datar .....	41
Gambar 4.7 Gambar Turbin Vortex Sudu Penampang Melengkung .....	42

Gambar 4.8 Gambar Alat Pengujian .....	42
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Putaran Pada Jarak Turbin 4 cm dari Lubang Outlet .....	52
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Putaran Pada Jarak Turbin 8 cm dari Lubang Outlet.....	53
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Putaran Pada Jarak Turbin 12 cm dari Lubang Outlet.....	54
Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin Pada Jarak Turbin 4 cm dari Lubang Outlet.....	55
Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin Pada Jarak Turbin 8 cm dari Lubang Outlet.....	56
Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin Pada Jarak Turbin 12 cm dari Lubang Outlet.....	57
Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin Pada Jarak Turbin 4 cm dari Lubang Outlet.....	58
Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin Pada Jarak Turbin 8 cm dari Lubang Outlet.....	59
Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin Pada Jarak Turbin 12 cm dari Lubang Outlet.....	60



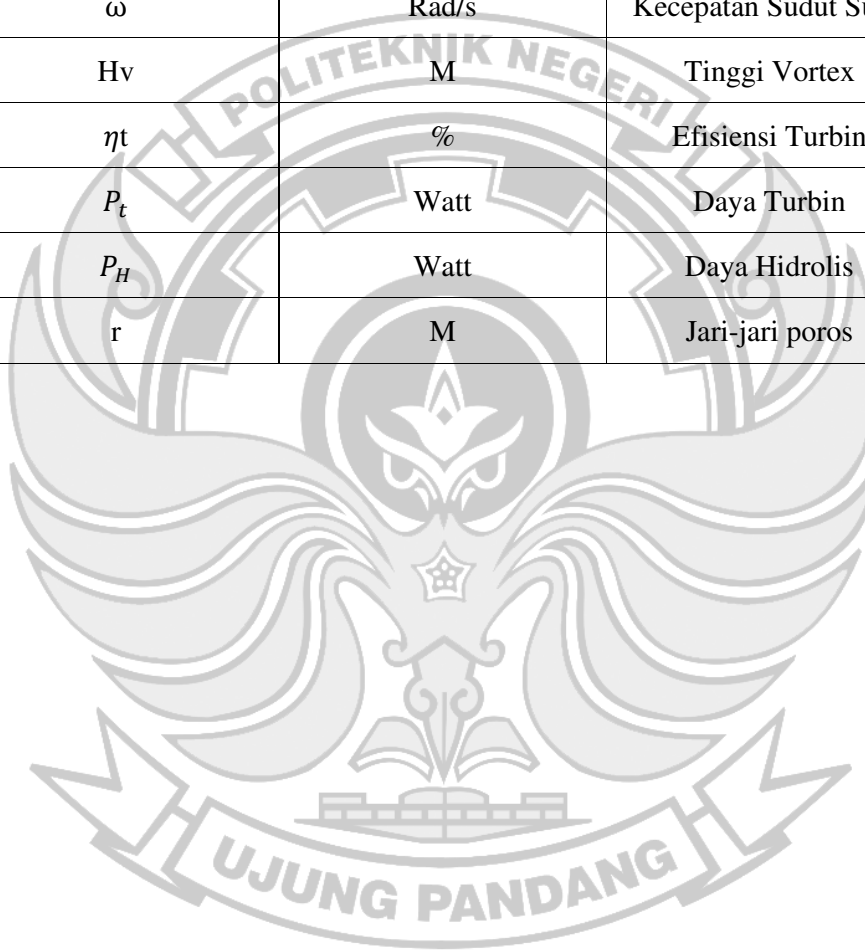
## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Alat Pengujian .....	66
Lampiran 2. Gambar Pembuatan Alat Pengujian.....	67
Lampiran 3. Gambar Pengujian Turbin .....	69
Lampiran 4. Data Hasil Pengujian .....	73



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	keterangan
$Q$	$M^3/s$	Debit Air
$\tau$	N.m	Torsi
$\omega$	Rad/s	Kecepatan Sudut Sudu
$H_v$	M	Tinggi Vortex
$\eta_t$	%	Efisiensi Turbin
$P_t$	Watt	Daya Turbin
$P_H$	Watt	Daya Hidrolis
$r$	M	Jari-jari poros





# **RANCANG BANGUN DAN UJI UNJUK KERJA TURBIN VORTEX MENGUNAKAN DUA TIPE PENAMPANG SUDU**

## **RINGKASAN**

Kebutuhan energi dari tahun ke-tahun selalu meningkat seiring perkembangan teknologi dan industri. Semakin lama waktu berjalan semakin banyak energi yang dibutuhkan tetapi berbanding terbalik dengan sumber energinya. Energi yang berasal dari energi fosil semakin lama semakin sedikit karena energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Untuk itu saat ini banyak pemanfaatan sumber daya alam yang digunakan sebagai sumber energi alternatif, salah satunya adalah mikrohidro.

Energi listrik melalui berbagai cara yang berbeda demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi gas alam dan minyak bumi yang saat ini digunakan, agar jumlahnya tidak semakin menipis. Energi air dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. Hal ini dilakukan dengan merubah energi potensial dan energi mekanik, diubah menjadi energi kinetik dan selanjutnya menjadi energi listrik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang sudu turbin vortex terhadap daya turbin yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen, dengan cara membuat dua jenis turbin vortex berpenampang sudu datar dan melengkung yang memvariasikan debit  $0,00140 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,00123 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan  $0,00102 \text{ m}^3/\text{s}$ , dengan variasi jarak turbin dari permukaan rumah turbin 14 cm, 10 cm, dan 6 cm. Hasil dari penelitian ini daya turbin tertinggi sebesar 3,05 watt pada turbin berpenampang sudu datar dengan debit  $0,00140 \text{ m}^3/\text{s}$  dan jarak turbin dari permukaan rumah turbin 6 cm. Sedangkan pada turbin jenis sudu penampang melengkung didapatkan nilai daya tertinggi yaitu sebesar 2,26 watt pada jarak turbin dari permukaan rumah turbin 6 cm dengan debit  $0,00123 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Kata kunci: Turbin vortex, daya turbin, debit aliran.

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan manusia yang ada di bumi akan energi menjadi hal yang sangat penting saat ini. Khususnya masyarakat yang ada di Indonesia. Kebutuhan akan energi di Indonesia akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Semakin lama waktu berjalan semakin banyak energi yang dibutuhkan tetapi berbanding terbalik dengan sumber energinya. Energi yang berasal dari energi fosil semakin lama semakin sedikit karena energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Untuk itu saat ini banyak pemanfaatan sumber daya alam yang digunakan sebagai sumber energi alternatif, salah satunya adalah mikrohidro.

Pencarian sumber energi terbarukan seperti energi angin, tenaga air dan energi matahari sebagai alternatif untuk produksi listrik muncul karena perselisihan sosial, ekonomi dan lingkungan penggunaan bahan bakar fosil. Apalagi saat ini banyak negara berkembang yang menghadapi krisis energi akibat meningkatnya industrialisasi untuk beberapa program pembangunan. Jika permintaan yang meningkat ini terus dipasok dari bahan bakar fosil, hal itu akan semakin menambah bencana lingkungan. Oleh karena itu, eksplorasi sumber daya energi terbarukan diperlukan untuk menghasilkan dan melestarikan energi yang berkelanjutan (Shabara,2015).

Energi listrik melalui berbagai cara yang berbeda demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi gas alam dan minyak bumi yang saat ini digunakan, agar jumlahnya tidak semakin menipis

(Baksoro, 2017). Energi air dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. Hal ini dilakukan dengan merubah energi potensial dan energi mekanik, diubah menjadi energi kinetik dan selanjutnya menjadi energi listrik (Efriyasika, 2021). Energi air telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang dalam skala besar telah digunakan sebagai pembangkit listrik. Beberapa perusahaan di bidang pertanian bahkan juga memiliki pembangkit listrik sendiri yang bersumber dari energi air. Di masa mendatang untuk pembangunan pedesaan termasuk industri kecil yang jauh dari jaringan listrik nasional, energi yang dibangkitkan melalui sistem mikrohidro diperkirakan akan tumbuh secara pesat (Fitroh, 2022).

Energi pada saat sekarang ini semakin berkurang akibatnya penggunaan energi fosil secara berlebihan disemua bidang, ilmuwan diseluruh dunia menyadari hal ini dan mencoba berbagai energi alternatif. Salah satu sumber energi saat ini yang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Penggunaan berbagai macam turbin semakin maju. Indonesia adalah negara agraris yang menghasilkan air secara terus menerus.

Pembangkit listrik tenaga air saat ini menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi yang terbaru, tetapi pemanfaatan yang ada masih menggunakan teknologi yang lebih sederhana. Pembangkit listrik jenis ini dalam proses pembuatannya lebih ekonomis tetapi masih dalam skala yang kecil. Artinya pembangkitpembangkit ini hanya mampu mencukupi pemakaian energi listrik yang rendah. Jenis pembangkit listrik tenaga air sering disebut microhydro atau yang sering disebut picohydro tergantung keluaran daya listrik yang dihasilkan. Microhydro atau yang sering disebut picohydro dibuat biasanya memanfaatkan air

terjun dengan ketinggian jatuh yang lebih besar. Sedangkan untuk aliran sungai dengan ketinggian jatuh yang lebih kecil belum bermanfaat secara optimal (Afriandi Roni Yusuf Perdana, 2021).

Saat ini turbin telah dikembangkan dengan berbagai ukuran dan angka serta dengan efektifitas yang tinggi. Turbin ini merupakan komponen terpenting bagi pembangkit listrik tenaga air karena dapat mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik air untuk membuat turbin berputar dan menghasilkan putaran sumbu untuk generator yang terhubung. Proses ini mengarah pada produksi listrik. Turbin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu Turbin Impuls dan Turbin Reaksi (Sritram, 2015).

Turbin vortex adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin vortex memiliki head yang relatif rendah. Turbin jenis ini sangat cocok digunakan untuk aliran sungai, karena kebanyakan sungai memiliki head yang rendah.

Berdasarkan penelitian mengenai turbin vortex sudu melengkung yang dilakukan Fitroh (2020) menyimpulkan bahwa Sudu sudut  $22,5^\circ$  memiliki daya dan efisiensi paling optimal daripada sudut  $0^\circ$ ,  $7,5^\circ$  dan  $15^\circ$ . Pada turbin sudut  $22,5^\circ$  memiliki daya tertinggi yang terjadi pada kapasitas 13,44350 L/s dengan pembebanan 40.000 g (44,11 W), dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas 7,99867 L/s dengan pembebanan 25.000 g (58,78 %).

Adapun penelitian mengenai turbin vortex sudu datar yang dilakukan oleh Maulana (2019) membuat turbin vortex tipe sudu berpenampang lurus yang memiliki luasan dengan tinggi 19 cm, 20 cm, 21 cm, dan lebar 27 cm yang

menggunakan kapasitas air 8,069 L/s, 9,413 L/s, 10,803 L/s, dan 12,341 L/s. Variasi pembebanan yang digunakan kenaikan 5000 gram hingga putaran poros pada turbin berhenti. Pengujian akan dilakukan hingga mendapatkan hasil daya dan efisiensi pada aliran vortex. Daya tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan tinggi sudu 19 cm yang terjadi pada kapasitas 12,341 L/s dengan pembebanan 40000 gram, memiliki daya sebesar 44,44 watt. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan tinggi 19 cm yang terjadi pada kapasitas 10,803 L/s dengan pembebanan 45000 gram, memiliki efisiensi sebesar 53,82 %.

Adapun pada kesempatan ini kami mengangkat judul mengenai “Rancang Bangun dan Uji Unjuk kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu”. Pada proposal ini, kami akan melakukan studi eksperimental dengan membandingkan daya yang dihasilkan pada turbin vortex dengan sudu penampang turbin datar dan melengkung pada debit aliran yang sama. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, dapat menjadi bahan referensi dalam menentukan sudu turbin vortex yang akan diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang disampaikan diatas, maka rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ada adalah :

1. Bagaimana merancang Turbin Vortex dengan sudu penampang datar dan melengkung?
2. Bagaimana perbandingan daya yang dihasilkan Turbin Vortex dengan Sudu penampang datar dan melengkung?

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Menggunakan dua jenis tipe sudu, yaitu tipe sudu datar dan melengkung.
2. Pengamatan kinerja turbin dengan skala kecil.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Membuat Turbin vortex dengan sudu penampang datar dan melengkung.
2. Untuk mengetahui pengaruh daya yang dihasilkan dengan perbedaan bentuk sudu pada Turbin Vortex.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Diharapkan mampu menambah pengetahuan dibidang pembangkit listrik khususnya pembangkit listrik tenaga air.
2. Diharapkan mampu menambah pengetahuan tentang turbin air khususnya Turbin Vortex.
3. Sebagai referensi bagi pembaca untuk mengetahui bagaimana pengaruh bentuk sudu pada Turbin Vortex.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan ini biasa disebut sebagai hidroelektrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Dalam PLTA, potensi air dikonversikan menjadi tenaga listrik, mula-mula potensi air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air, kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan energi listrik.

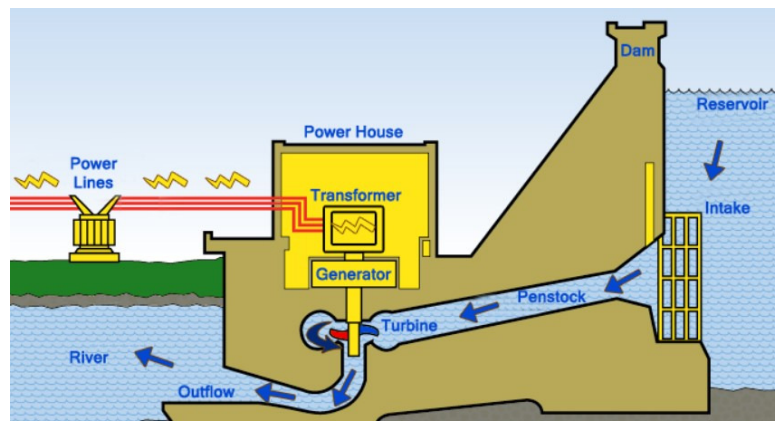
Menurut Dietzel, Fritz. (1980) turbin adalah mesin penggerak dimana energi fluida yang dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Di dalam turbin, fluida kerjanya mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan fluida, dan mengalir secara kontinyu. Fluida kerjanya dapat berupa air, uap air, atau gas. Jadi secara garis besar turbin air dapat diartikan mesin konversi energi yang dapat menghasilkan daya dengan cara mengekspansikan (menurunkan tekanan) fluida yang berupa air yang mengalir secara kontinyu melalui turbin air tersebut.

Pembangkit listrik tenaga air tak hanya terbatas pada air dari sebuah bendungan, namun juga meliputi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dalam bentuk lain seperti tenaga ombak. Ada beberapa kelebihan dari pembangkit listrik tenaga air dibandingkan tenaga listrik lainnya, seperti mampu



menyesuaikan dengan beban yang dibutuhkan, ramah lingkungan, dan tidak menyebabkan polusi.

Cara kerja PLTA pada dasarnya untuk mengubah energi air menjadi energi listrik. Air menjadi sarana potensial yang bisa digunakan untuk menggerakkan turbin, lalu air yang ada di bendungan akan turun ke dalam lubang untuk memutar turbin. Perputaran turbin tersebut akan menghasilkan energi mekanik yang dikonversi melalui generator menjadi energi listrik. Setelah itu, cara kerja PLTA berikutnya akan diteruskan ke power suplay listrik dan akan disambungkan oleh kabel. (Jevi Nugraha,2020)



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Air  
(Sumber : <https://caramesin.com/prinsip-cara-kerja-plta/>)

## 2.2 Pengertian Turbin Air

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk industry pembangkit listrik (Fritz Dietzel). Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Menurut Dietzel, Fritz. (1980) turbin adalah mesin penggerak dimana energi fluida yang dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Di dalam turbin, fluida

kerjanya mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan fluida, dan mengalir secara kontinyu. Fluida kerjanya dapat berupa air, uap air, atau gas. Jadi secara garis besar turbin air dapat diartikan mesin konversi energi yang dapat menghasilkan daya dengan cara mengekspansikan (menurunkan tekanan) fluida yang berupa air yang mengalir secara kontinyu melalui turbin air tersebut. Menurut Djiteng Marsudi (2004 : 53-56) prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik.

Turbin adalah mesin penggerak dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar sudu turbin. Bagian turbin yang bergerak dinamakan rotor atau sudu turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Secara umum, turbin adalah alat mekanika yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap ataupun stationary blade, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau rotary blade, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak Edisi berubah dengan tekanan Komponen-Komponen turbin air (Lendeber Sinaga,2015).

Komponen-komponen utama pada turbin menurut (Nugroho,2015) adalah sebagai berikut:

1. Stator

Stator turbin terdiri dari dua bagian, yaitu casing dan sudu diam / tetap (fixed blade).

- a. Casing

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

b. Sudu tetap

Sudu merupakan bagian dari turbin dimana konversi energi terjadi.

Sudu terdiri dari bagian akar sudu, badan sudu dan ujung sudu.

Sudu kemudian dirangkai sehingga membentuk satu lingkaran penuh.

2. Rotor

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

a. Poros

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

b. Sudu gerak

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

c. Bantalan

Bantalan berfungsi sebagai penyangga rotor sehingga membuat rotor dapat stabil/lurus pada posisinya didalam casing dan rotor dapat berputar dengan aman dan bebas. Adanya bantalan yang menyangga turbin selain bermanfaat untuk menjaga rotor turbin

tetap pada posisinya juga menimbulkan kerugian mekanik karena gesekan.

### 2.3 Jenis-Jenis Turbin

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

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

Berdasarkan arah alirannya (Subekti, R. A., 2015), turbin dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu turbin aliran radial dan turbin aliran aksial.

- a. Turbin Aliran Radial Turbin aliran radial adalah turbin yang arah alirannya tegak lurus dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran radial digunakan untuk laju alir (aliran working fluid) rendah dan dengan perbedaan tekanan (difference pressure) tinggi.
- b. Turbin Aliran Aksial Turbin yang sejajar dengan arah putaran poros turbin. Turbin dengan aliran aksial digunakan untuk laju alir tinggi dan dengan perbedaan tekanan rendah (1 – 40 bar). Axial-flow turbines kebanyakan digunakan dalam aplikasi yang melibatkan fluida

kompresibel. Dalam banyak penggunaan, efisiensi Axial-flow turbines lebih tinggi dibandingkan radial-inflow turbines.

#### **2.4.1 Turbin Impuls**

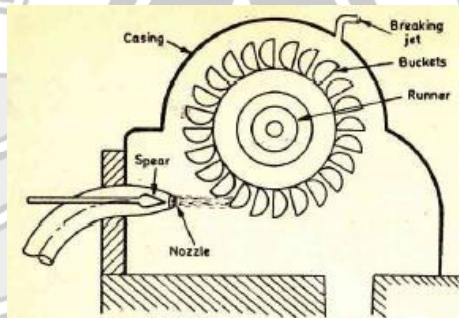
Pada turbin impuls energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air yang keluar dari nosel mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu turbin arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya roda turbin akan berputar. Beberapa contoh dari turbin impuls turbin pelton dan turbin crossflow.

##### **2.4.1.1 Turbin Pelton**

Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Menurut Simamora, M. (2012). Turbin Pelton yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke mangkok jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial  $F$  yang bekerja pada mangkok roda jalan. Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh yang besar. Tinggi air jatuh dihitung mulai dari permukaan atas sampai tengah tengah pancaran air. Bentuk mangkok terbelah menjadi dua bagian yang simetris, dengan maksud adalah agar dapat membalikan pancaran air dengan baik dan membebaskan mangkok dari gaya-gaya samping.

Menurut (Subekti, R. A., 2015), Turbin Pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan didalam nozzle dimana air yang

semula mempunyai energi potensial yang tinggi diubah menjadi energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari nozzle akan menumbuk bucket yang dipasang tetap sekeliling runner dan garis pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat bucket. Kecepatan keliling dari bucket akibat tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air di atas nozzlenya serta effisiensinya. Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan oleh nozzle. Keuntungan turbin pelton yaitu, daya yang dihasilkan besar, konstruksi yang sederhana, Mudah dalam perawatan, dan teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.



Gambar 2. 2 Skema Turbin Pelton  
(Sumber : Lanni Hartono,2018)

#### 2.4.1.2 Turbin Crossflow

Turbin tipe ini dibuat pertama kali di Eropa. Nama cross-flow diambil dari kenyataan bahwa air melintasi kedua sudu gerak atau runner dalam menghasilkan putaran (rotasi). Sedangkan nama Banki (dari Hungaria) dan Mitchell (dari Austria) adalah nama ahli teknik yang mengembangkan prinsip – prinsip turbin tersebut yaitu turbin ini dilengkapi dengan pipa hisap, dan sebagai akibatnya daya yang dihasilkan turbin, proses kerja dan randemen turbin menjadi

lebih baik. Turbin cross-flow ini mempunyai arah aliran yang radial atau tegak lurus dengan sumbu turbin. Turbin ini mempunyai alat pengarah sehingga dengan demikian celah bebas dengan sudu-sudu di sekeliling roda hanya sedikit. Karena itu pada keadaan beban penuh perputarannya roda terjadi sedikit kemacetan, yang menimbulkan sedikit tekanan lebih. Turbin cross-flow terdiri dari tiga bagian utama yaitu roda jalan, alat pengarah dan rumah turbin (Mafruddin, M. 2014).

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

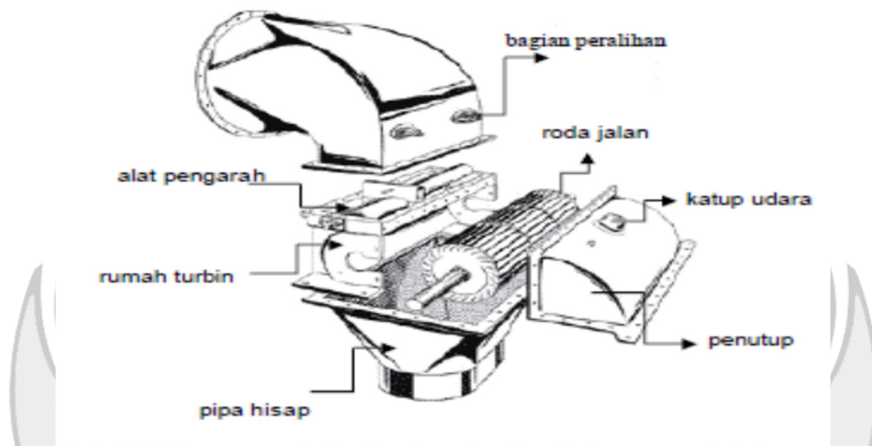
Ciri utama turbin impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar. Turbin impuls disebut turbin tak bertekanan karena sudu gerak beroperasi pada tekanan atmosfer.

Komponen – komponen utama konstruksi turbin cross-flow adalah sebagai berikut (Mafruddin, M. 2014) :

1. Rumah Turbin
2. Alat Pengarah (distributor)
3. Roda Jalan



4. Penutup
5. Katup Udara
6. Pipa Hisap
7. Bagian Peralihan



Gambar 2. 3 Konstruksi Turbin Crossflow  
(Sumber : Mafruddin, M. 2014)

## 2.4.2 Turbin Reaksi

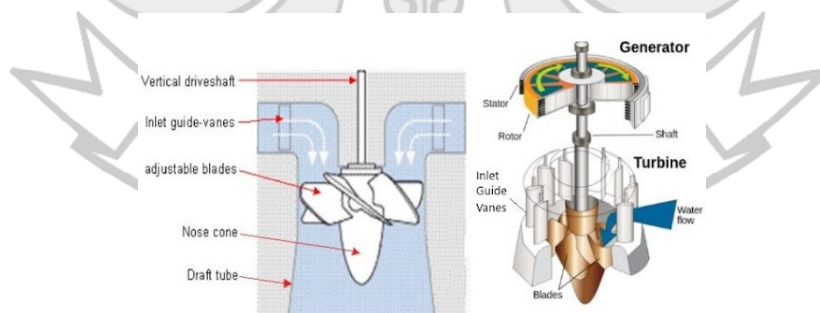
Turbin reaksi biasa disebut turbin tekanan lebih, turbin ini terdiri atas sudu pengarah dan sudu jalan. Pada Turbin Reaksi proses ekspansi air terjadi di dalam sudu tetap maupun sudu gerak, dan kedua sudu tersebut semuanya terendam di dalam aliran air. Turbin reaksi digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium. Beberapa contoh turbin reaksi adalah turbin Francis, turbin Kaplan, Turbin Vortex.

### 2.4.2.1 Turbin Kaplan

Turbin kaplan adalah turbin dengan sudu-sudu berbentuk baling-baling yang dapat diatur untuk mendapat efisiensi maksimal sesuai dengan besar-kecilnya aliran dan level ketinggian air. Menurut Subekti, R. A., (2015). Turbin

Kaplan adalah turbin air jenis baling-baling yang memiliki pisau/sirip yang dapat disesuaikan, pada turbin reaksi air masuk kedalam jaringan dalam keadaan bertekanan dan kemudian mengalir ke sudu, dengan bertambahnya kapasitas air yang masuk ke dalam turbin maka akan bertambah besar pula luas penampang saluran yang dilalui air dan selain itu kecepatan putar yang demikian bisa ditentukan lebih tinggi kecepatan spesifik bertambah, kelengkungan sudu, jumlah sudu dan belokan air di dalam sudu berkurang. Sejatinya, turbin kaplan merupakan pengembangan dari turbin francis, pengembangannya dilakukan pada tahun 1913 oleh ilmuwan asal Austria yang bernama Viktor Kaplan. Turbin kaplan juga termasuk ke dalam jenis turbin reaksi. Keistimewaan lainnya, turbin kaplan dapat diaplikasikan pada *head* (tinggi jatuhnya air) yang rendah, Maka dari itu, turbin ini cocok digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air sungai.

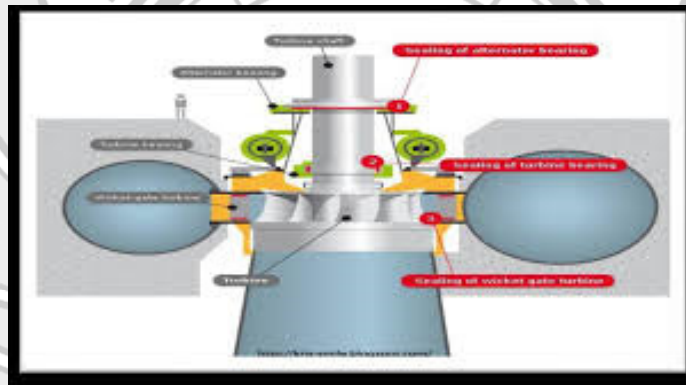
Keuntungan turbin kaplan (Subekti, R. A., 2015). Baling baling turbin Runner yang dapat disesuaikan, hanya membutuhkan head dengan skala yang rendah, dan memiliki jumlah head yang sangat kecil dari 3 pisau sampai 8.



Gambar 2.4 Turbin Kaplan  
(Sumber : Cakrawala96,2021)

### 2.4.2.2 Turbin Francis

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

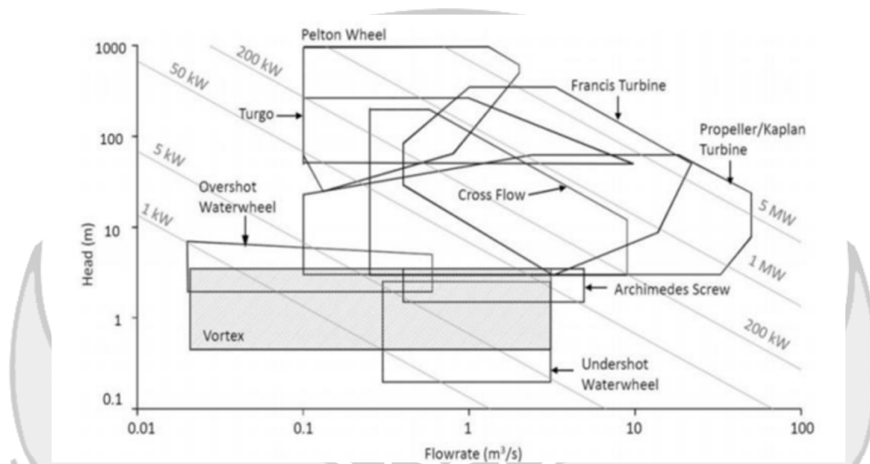


Gambar 2.5 Skema Turbin Prancis

### 2.4.2.3 Turbin Vortex

Turbin ini dinamakan sebagai Gravitation water vortex power plant (GWVPP) oleh penemunya Frans Zotleterer berkebangsaan Austria, tetapi nama turbin ini dikenal juga sebagai turbin vortex atau turbin pusaran air. Sesuai dengan namanya pusaran air, turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan

membentuk aliran pusaran air. Turbin reaksi aliran vortex memiliki kelebihanya sendiri yaitu dapat dibangun di daerah terpencil dengan potensi air yang tidak harus besar. Turbin vortex memiliki head yang relatif rendah 0,7 m – 3m dengan debit 50 L/s (Sudrajad, W. F. B, 2019). Turbin jenis ini sangat cocok digunakan untuk aliran sungai, karena kebanyakan sungai memiliki head yang rendah.



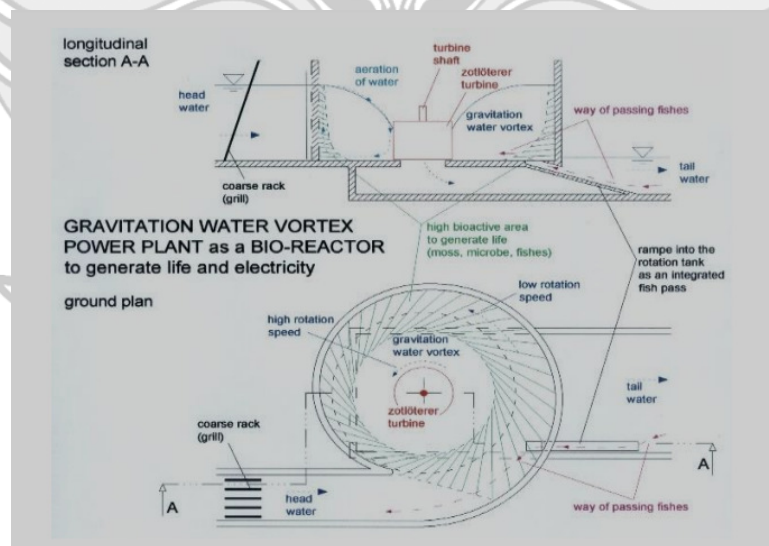
Gambar 2.6 Rentang Aplikasi Turbin  
(Sumber : Sudrajad, W. F. B, 2019)

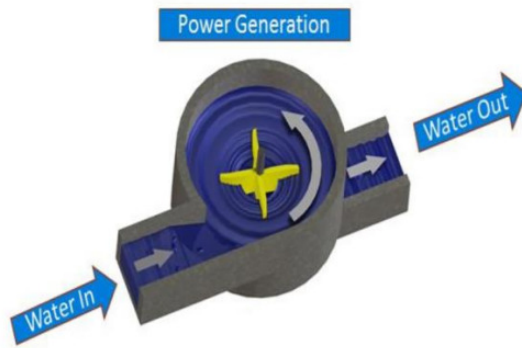
Turbin Vortex adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Pusaran air sendiri didapatkan jika adanya outlet darirumahsudu. Turbin Vortex mempunyai head yang relatif rendah dan hanya memerlukan debit air terus menerus, yang sangat cocok digunakan di aliran sungai (Tanjung, 2015).

*Water vortex* adalah suatu fenomena dimana air mengalir dalam gerakan pusaran (Kueh, 2014). Fenomena vortex atau pusaran aliran air tersebut mengakibatkan percepatan dari kecepatan rendah menjadi kecepatan tinggi sehingga meningkatkan sejumlah energi kinetik yang terkandung di dalam aliran

air, yang selanjutnya diharapkan akan lebih efisien untuk dikonversi ke dalam bentuk energi lain, salah satunya energi listrik (Ikhsan, H. K., 2020)

Prinsip kerja PLTMH vortex adalah air memasuki sebuah inlet yang berukuran besar dan bergerak melalui sebuah saluran menuju sebuah basin (casing) berbentuk lingkaran, kemudian air bergerak secara tangensial (Gambar 2.7). Dibawah basin (casing) yang berbentuk lingkaran tersebut, terdapat outlet untuk keluarnya air dimana diameter pada outlet lebih kecil dibanding diameter inlet. Pusaran air akan terbentuk didalam basin ketika air mengalir menuju outlet akibat adanya gravitasi. Turbin pada PLTMH vortex ini tidak bergerak karena adanya perbedaan tekanan namun bergerak karena gaya dinamik pada vortex (Dhakal, S., 2015).





Gambar 2. 7 Skema Turbin Vortex  
(Sumber : Basri, M. H., 2020)

## 2.4 Prinsip Kerja Turbin Vortex

Sistem PLTA pusaran air adalah sebuah teknologi baru yang memanfaatkan energi yang terkandung dalam pusaran air yang besar dengan diciptakan melalui perbedaan head rendah di sungai (Gibran,2014). Cara kerja turbin vortex :

1. Air sungai dari tepi sungai disalurkan dan dibawa ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
2. Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran vortex.
3. Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi diinti vortex yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran keluar.

## 2.5 Keunggulan Turbin Vortex

Adapun keunggulan Turbin Vortex yaitu :

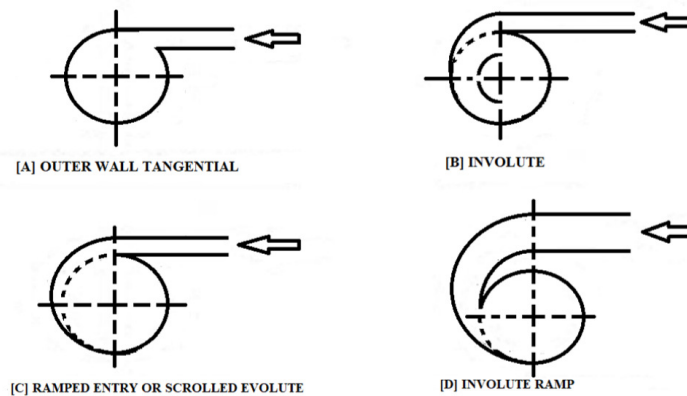
1. Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar namun hanya memiliki head yang rendah.

2. Tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin lainnya.
3. Tekanan air yang terjadi tidak merusak ekologi, dalam hal ini dampak terhadap kehidupan air ikan dan microorganism lainya tetap terjaga.
4. Tidak membutuhkan draft tube, sehingga dapat mengurangi pengeluaran untuk penggalian pemasangan draft tube.
5. Memiliki efisiensi yang tinggi, dengan variasi debit yang besar dan sangat baik untuk debit air yang kecil.
6. Tidak memerlukan jaring- jaring halus sebagai pencegah masuknya puing- puing kedalam turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

## **2.6 Saluran Masuk (*Inlet area*)**

Ada beberapa tipe dari saluran masuk (*Inlet area*), yaitu : saluran masuk tipe involute, saluran masuk tipe ramp dan saluran masuk tipe scroll. Berbagai tipe tersebut dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan kinerja dari turbin. Dengan konstruksi lubang masuk dengan tipe involute, saluran masuk tipe ramp dan saluran masuk tipe scroll dapat mengurangi efek dari turbulensi yang terjadi disekitar dinding saluran masuk dan daerah antara saluran masuk.





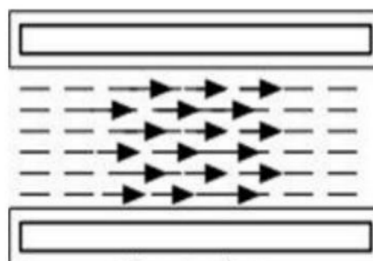
Gambar 2. 8 Tipe Lubang Masuk Turbin Vortex  
(Sumber : Yusuf Randabunga, 2013.)

## 2.7 Tipe – Tipe Aliran

Adapun tipe – tipe Aliran yaitu :

### 1. Aliran Laminar

Pada aliran laminar ini viskositas memiliki fungsi untuk meredam kecenderungan timbulnyagerakan relative antar lapisan. aliran laminar yaitu aliran yang fluidanya bergerak dalam laipsan –lapisan atau laminar yang satu lapisannya meluncur secara lancar.

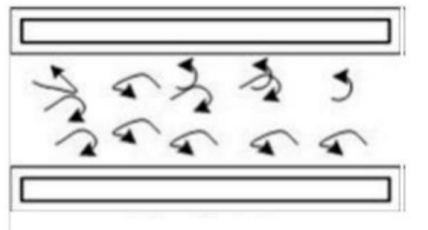


Gambar 2. 9 Aliran Laminar  
(Sumber : Philip,2017)



## 2. Aliran Turbulen

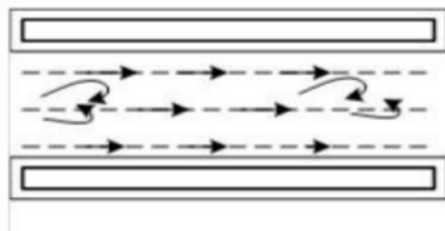
Aliran yang partikel-partikel fluidanya bergerak tidak menentu diakibatkan oleh pencampuran dan putaran partikel antar lapisan, yang menyebabkan momentum saling bertukar antara satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dengan skala yang besar. Kerugian-kerugian dihasilkan oleh tegangan geser yang merata pada seluruh fluida yang disebabkan oleh aliran turbulensi yang membangkitkan tegangan geser tersebut.



Gambar 2. 10 Aliran Turbulen

## 3. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan beralihnya aliran dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2. 11 Aliran Transisi  
(Sumber : Philip,2017)

#### 4. Aliran Vortex

Aliran vortex ini adalah aliran turbulen. Dikatakan aliran turbulen karena alirannya tidak teratur dan membentuk pusaran. Vorticity (kecepatan aliran vortex) sangat tinggi di daerah inti disekitar sumbu dan tekanan menekuk tajam ke bawah menuju lubang buang. (Tanjung,2015)

Aliran vortex merupakan massa fluida yang partikel-parikelnya bergerak berputar searah garis arus dan membentuk sebuah lingkaran konsentris. Gerakan yang berbutar diakibatkan oleh sebuah perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan, atau bisa diartikan juga sebagai gerakan alam fluida yang ditimbulkan oleh parameter kecepatan tekanan dan kecepatan. Pusaran yang putarannya rasional dimana viskositas berpengaruh di dalamnya merupakan efek dari pusaran vortex.

### 2.8 Persamaan yang Digunakan

#### 1. Menghitung Debit

Debit aliran air dihitung dengan menggunakan persamaan (Efriyasika, 2021):

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

Q = Debit (m<sup>3</sup>/s)

V = Volume (m<sup>3</sup>/s)

t = Waktu (s)

#### 2. Menghitung Torsi Turbin

Torsi dihitung dengan menggunakan persamaan (Efriyasika, 2021) :

$$\tau = F \cdot r \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana :

$\tau$  = Momen torsi

F = Gaya pada poros

r = Jari-jari poros (m)

### 3. Menghitung Kecepatan Sudut Sudu ( $\omega$ )

Menghitung Kecepatan Sudut Sudu (Efriyasika, 2021) :

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

Keterangan :

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

$\eta$  = Phi (3,14)

n = Putaran (rpm)

### 4. Menghitung Daya Turbin

Daya Turbin dihitung dengan menggunakan persamaan (Efriyasika, 2021) :

$$P_t = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

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

$\tau$  = Torsi yang terjadi (N.m)

### 5. Menghitung Daya Hidrolis

Daya Hidrolis dihitung dengan menggunakan persamaan (Efriyasika, 2021):

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_v \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

$P_H$  = Daya hidrolis (Watt)

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

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

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

$H_v$  = Tinggi vortex (m)

#### 6. Menghitung Daya Generator

Daya Generator dihitung dengan menggunakan persamaan (Bahrullah, 2020) :

$$P_g = V \cdot I \dots\dots\dots(2-6)$$

Keterangan :

$P_g$  = daya generator

$V$  = tegangan listrik (V)

$I$  = arus listrik (A)

#### 7. Menghitung Effisiensi Turbin

Effisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Efriyasika, 2021) :

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_H} \times 100 \% \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

$\eta_t$  = Efisiensi (%)

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$P_H$  = Daya hidrolis (Watt)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pembuatan Alat Pengujian

Pada pembuatan alat ini terdapat beberapa komponen-komponen yang dibuat antara lain sebagai berikut :

- 1) Rangka pengujian
- 2) Rumah turbin (casing)
- 3) Bak penampung inlet
- 4) Saluran air
- 5) Turbin vortex

#### 4.1.1 Pembuatan Rangka Pengujian

Rangka pengujian merupakan tempat untuk menyangga rumah turbin (casing) dan bak penampung air. Bahan rangka terbuat dari besi hollow galvanis 3x3 cm dengan panjang rangka 120 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 100 cm.



## Gambar 4.1 Rangka Pengujian

### 4.1.2 Pembuatan Rumah Turbin (casing)

Rumah turbin (casing) merupakan tempat dimana air disalurkan untuk membentuk pusaran air (vortex), sehingga aliran air yang membentuk pusaran tersebut akan menabrak sudu-sudu turbin. Pada sisi bawah casing dibuat lubang outlet dengan diameter 3,5 cm sebagai tempat keluarnya air. Rumah turbin (casing) yang digunakan terbuat dari ember aluminum dengan diameter 31 cm dan tinggi 39 cm dan teba 1.5 mm.



Gambar 4.2 Rumah Turbin (casing)

Pada penelitian ini tipe saluran masuk (inlet area) rumah turbin yang dibuat adalah menggunakan tipe Involute. Jenis-jenis tipe dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 4.3 Tipe Saluran Involute

#### 4.1.3 Pembuatan Bak Penampung Inlet

Sebelum air disalurkan ke rumah turbin (casing), terlebih dahulu air dipompa ke bak penampung inlet. Setelah bak penampung air penuh maka air akan mengalir ke rumah turbin melalui saluran air. Bak penampung air ini terbuat dari plat aluminium dengan ukuran panjang 48 cm, lebar 20 cm, tinggi 30 cm, dan tebal plat 1 mm



Gambar 4.4 Bak Penampung Air Inlet

#### 4.1.4 Pembuatan Saluran Air

Saluran air merupakan jalur air yang dibuat untuk mengalirkan air dari bak penampung inlet ke rumah turbin (casing). Saluran ini terbuat dari plat

aluminium dengan ukuran panjang 86 cm, tinggi 10 cm, lebar 10 cm, dan tebal plat 1 mm.



Gambar 4.5 Saluran Air

#### 4.1.5 Pembuatan Turbin Vortex

Pada penelitian ini dibuat 2 jenis turbin yaitu turbin dengan sudu berpenampang datar dan sudu perpenampang melengkung. Turbin ini terdiri dari 2 bagian yaitu poros dan sudu turbin. Poros turbin yang digunakan terbuat dari besi pipa stainless steel dengan diameter 1.9 cm dan tebal 1 mm sedangkan sudu turbin terbuat dari besi plat dengan lebar sudu 7,75 cm (terhitung dari pusat poros), tinggi 21 cm dan tebal 1 mm.

##### 1) Penentuan lebar sudu

Berdasarkan penelitian Yusuf Randabunga (2013), yang berjudul “Pengaruh lebar sudu terhadap kinerja turbin vortex” dengan jumlah sudu 6 dan variasi lebar sudu (terhitung dari pusat poros) yaitu  $1/6$ ,  $2/6$ ,  $3/6$ ,  $4/6$  dan  $5/6$  x jari-jari rumah turbin (casing), didapatkan daya terbesar yaitu dengan sudu  $3/6$ .

Maka pada penelitian ini menggunakan 6 sudu pada turbin datar dan melengkung dan lebar sudu menggunakan  $3/6$  sehingga dapat dihitung :



$$\begin{aligned} \text{Lebar sudu} &= 3/6 \times \text{jari-jari rumah turbin (casing)} \\ &= 3/6 \times 15,5 \text{ cm} \\ &= 7,75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka diameter turbin adalah  $2 \times \text{lebar sudu} = 15,5 \text{ cm}$

## 2) Jarak antar sudu

Jarak antar sudu dapat dihitung sebagai berikut :

$D1 = \text{diameter sisi dalam turbin} = \text{diameter poros turbin} (1,9 \text{ cm})$

$D2 = \text{diameter sisi luar turbin}$

$$\begin{aligned} L1 &= \frac{\pi \cdot D1}{Z} \\ &= \frac{3,14 \cdot 1,9 \text{ cm}}{6} \\ &= 0,99 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L2 &= \frac{\pi \cdot D2}{Z} \\ &= \frac{3,14 \cdot 15,5 \text{ cm}}{6} \\ &= 8,11 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dimana :  $L1 = \text{Jarak sisi dalam}$

$L2 = \text{Jarak sisi luar}$

$Z = \text{Jumlah sudu yang digunakan}$



Gambar 4.6 Gambar Turbin Vortex Sudu Penampang Datar



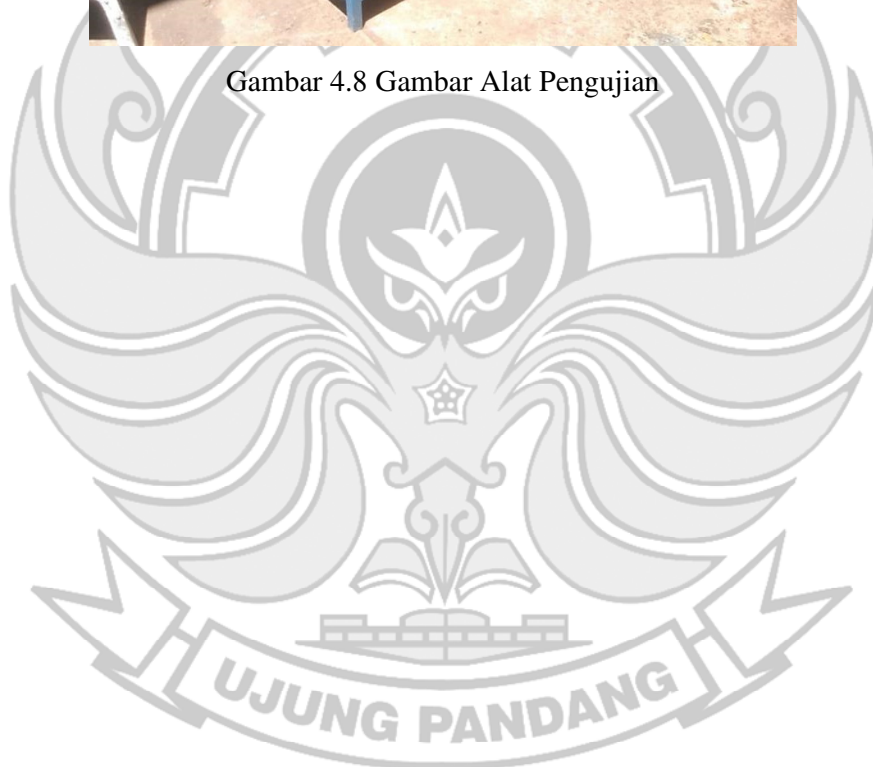
Gambar 4.7 Gambar Turbin Vortex Sudu Penampang Melengkung

Tabel 4.1 Spesifikasi Turbin

Turbin	Tinggi (cm)	Diameter Sisi Luar (cm)	Diameter Sisi Dalam (cm)	Luas Setiap Sudu (m <sup>2</sup> )	Massa (kg)
Sudu Penampang Lurus	21 cm	15,5 cm	1,9 cm	1,428 m <sup>2</sup>	0,710
Sudu Penampang Melengkung	21 cm	15,5 cm	1,9 cm	1,596 m <sup>2</sup>	0,785



Gambar 4.8 Gambar Alat Pengujian



## 4.2 Hasil Pengujian

Pada pengujian ini telah dilakukan beberapa variasi pengujian yaitu, variasi bukaan katup, variasi bentuk penampang sudu dan variasi jarak turbin dari lubang outlet. Adapun data-data pengujian yang diperoleh sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil pengukuran debit

No.	Bukaan Katup	Volume (L)	Waktu (s)
1	100%	10	7.12
2	75%	10	8.11
3	50%	10	9.80

Pengukuran debit dilakukan dengan cara menampung air dari pompa kedalam wadah yang memiliki volume 10 liter, kemudian dihitung waktu sampai wadah tersebut penuh.

### 4.2.1 Hasil Pengujian Turbin Sudu Datar Tanpa Beban

Tabel 4.3 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.27	0.00140	90	1.608
2	75%	0.25	0.00123	87	1.420
3	50%	0.18	0.00102	78	1.230

Tabel 4.4 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.30	0.00140	163	1.700
2	75%	0.26	0.00123	162	1.900
3	50%	0.24	0.00102	157	1.650

Tabel 4.5 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.31	0.00140	163	2.280
2	75%	0.29	0.00123	160	2.190
3	50%	0.24	0.00102	158	1.800

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Turbin Sudu Melengkung Tanpa Beban

Tabel 4.6 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.30	0.00140	94	1.780
2	75%	0.27	0.00123	92	1.675
3	50%	0.22	0.00102	70	1.420

Tabel 4.7 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.30	0.00140	96	2.000
2	75%	0.27	0.00123	88	1.875
3	50%	0.24	0.00102	149	1.780

Tabel 4.8 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.32	0.00140	125	1.990
2	75%	0.30	0.00123	149	1.850
3	50%	0.27	0.00102	152	1.710

#### 4.2.3 Hasil Pengujian Turbin Sudu Datar Dengan Beban

Tabel 4.9 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.26	0.00140	85	85	3.87	0	Tanpa Lampu
				82	82	2.80	1.00	Menggunakan Lampu
2	75%	0.24	0.00123	81	81	3.70	0	Tanpa Lampu
				80	80	2.80	0.80	Menggunakan Lampu
3	50%	0.19	0.00102	71	71	3.60	0	Tanpa Lampu
				68	68	2.76	0.40	Menggunakan Lampu

Tabel 4.10 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.29	0.00140	147	147	5.70	0	Tanpa Lampu
				86	86	2.87	1.20	Menggunakan Lampu
2	75%	0.26	0.00123	98	98	4.0	0	Tanpa Lampu
				89	89	2.80	1.50	Menggunakan Lampu
3	50%	0.23	0.00102	130	130	6.63	0	Tanpa Lampu
				140	140	3.00	4.15	Menggunakan Lampu

Tabel 4.11 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.31	0.00140	160	160	7.40	0	Tanpa Lampu
				152	152	3.00	2.10	Menggunakan Lampu
2	75%	0.29	0.00123	158	158	7.31	0	Tanpa Lampu
				148	148	3.00	5.00	Menggunakan Lampu
3	50%	0.25	0.00102	150	150	6.80	0	Tanpa Lampu
				148	148	3.00	5.00	Menggunakan Lampu

#### 4.2.4 Hasil Pengujian Turbin Sudu Melengkung Dengan Beban

Tabel 4.12 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.28	0.00140	89	89	4.10	0	Tanpa Lampu
				88	88	2.87	1.50	Menggunakan Lampu
2	75%	0.27	0.00123	90	90	4.20	0	Tanpa Lampu
				90	90	2.88	1.67	Menggunakan Lampu
3	50%	0.20	0.00102	87	87	4.00	0	Tanpa Lampu
				84	84	2.87	1.40	Menggunakan Lampu

Tabel 4.13 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.30	0.00140	87	87	3.75	0	Tanpa Lampu
				83	83	2.84	1.00	Menggunakan Lampu
2	75%	0.29	0.00123	85	85	3.60	0	Tanpa Lampu
				83	83	2.81	0.70	Menggunakan Lampu
3	50%	0.24	0.00102	112	112	5.15	0	Tanpa Lampu
				109	109	2.24	2.25	Menggunakan Lampu

Tabel 4.14 Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.32	0.00140	120	120	4.30	0	Tanpa Lampu
				102	102	2.91	2.00	Menggunakan Lampu
2	75%	0.30	0.00123	145	145	6.80	0	Tanpa Lampu
				140	140	2.99	4.60	Menggunakan Lampu
3	50%	0.26	0.00102	144	144	6.70	0	Tanpa Lampu
				142	142	3.00	4.40	Menggunakan Lampu

#### 4.3 Pengolahan Data Pengujian

Berdasarkan hasil data pengujian dari dua jenis turbin, maka dilakukan pengolahan data sebagai berikut :



#### 4.3.1 Debit

Untuk menghitung debit menggunakan persamaan (2-1) dengan menghitung data no. 1 pada tabel 4.2

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{10}{7.12} = 1.40 \text{ L/s} = 0.0040 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.3.1 Torsi Turbin

Untuk menghitung torsi turbin menggunakan persamaan (2-2) dengan menghitung data no. 1 pada tabel 4.3

$$\begin{aligned}\tau &= F \times r \\ &= (1.608 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}) \times 0.008 \text{ m} \\ &= 0.126 \text{ Nm}\end{aligned}$$

r = jari-jari poros turbin (0.008 m)

#### 4.3.2 Kecepatan Sudut Sudu ( $\omega$ )

Untuk menghitung kecepatan sudut sudu menggunakan persamaan (2-3) dengan menghitung data no. 1 pada tabel 4.4

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2.3,14.90}{60} = 9.42 \text{ rad/s}$$

#### 4.3.3 Daya Turbin

Untuk menghitung daya turbin menggunakan persamaan (2-4)

$$\begin{aligned}P_t &= \tau \cdot \omega \\ &= 0.126 \text{ Nm} \times 9.42 \text{ rad/s} = 1.19 \text{ Watt}\end{aligned}$$

#### 4.3.4 Daya Hidrolis

Untuk menghitung kecepatan sudut sudu menggunakan persamaan (2-5) dengan menghitung data no. 1 pada tabel 4.3

$$\begin{aligned}P_H &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_v \\&= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.0040 \text{ m}^3/\text{s} \times 0.27 \text{ m} \\&= 3.71 \text{ Watt}\end{aligned}$$

#### 4.3.5 Daya Generator

Untuk menghitung daya generator menggunakan persamaan (2-6) dengan menghitung data no. 1 pada tabel 4.9

$$\begin{aligned}P_g &= V \cdot I \\&= 2.80 \text{ V} \times 1.0 \text{ mA} \\&= 2.80 \text{ mW}\end{aligned}$$

#### 4.3.6 Effisiensi Turbin

Untuk menghitung effisiensi turbin menggunakan persamaan (2-7)

$$\begin{aligned}\eta_t &= \frac{P_t}{P_H} \times 100 \% \\&= \frac{1,19}{3,71} \times 100 \% \\&= 32.06 \%\end{aligned}$$

Setelah menghitung data-data hasil pengujian, maka didapatkan tabel hasil pengolahan data di bawah ini.

1. Hasil pengolahan data turbin sudu datar

Tabel 4.15 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Hidrolis (watt)	Torsi (Nm)	$\omega$ (rad/s)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (mW)	Efiseinsi Turbin (%)
1	100%	0.00140	3.71	0.126	9.42	1.19	2.80	32.06
2	75%	0.00123	3.02	0.111	9.11	1.01	2.24	33.64
3	50%	0.00102	1.80	0.097	8.16	0.79	1.10	43.75

Tabel 4.16 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Hidrolis (watt)	Torsi (Nm)	$\omega$ (rad/s)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (mW)	Efiseinsi Turbin (%)
1	100%	0.00140	4.12	0.133	17.06	2.28	3.44	55.24
2	75%	0.00123	3.14	0.149	16.96	2.53	4.20	80.59
3	50%	0.00102	2.40	0.129	16.43	2.13	12.45	88.61

Tabel 4.17 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Hidrolis (watt)	Torsi (Nm)	$\omega$ (rad/s)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (mW)	Efiseinsi Turbin (%)
1	100%	0.00140	4.26	0.179	17.06	3.05	6.30	71.70
2	75%	0.00123	3.50	0.172	16.75	2.88	15.00	82.25
3	50%	0.00102	2.40	0.141	16.54	2.34	15.00	97.28

## 2. Hasil pengolahan data turbin sudu melengkung

Tabel 4.18 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Hidrolis (watt)	Torsi (Nm)	$\omega$ (rad/s)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (mW)	Efiseinsi Turbin (%)
1	100%	0.00140	4.12	0.140	9.84	1.37	4.31	33.36
2	75%	0.00123	3.26	0.131	9.63	1.27	4.81	38.85
3	50%	0.00102	2.20	0.111	7.33	0.82	4.02	37.09

Tabel 4.19 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Hidrolis (watt)	Torsi (Nm)	$\omega$ (rad/s)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (mW)	Efiseinsi Turbin (%)
1	100%	0.00140	4.12	0.157	10.05	1.58	4.26	38.28
2	75%	0.00123	2.65	0.147	9.21	1.36	1.97	51.06
3	50%	0.00102	2.40	0.140	15.60	2.18	3.14	90.72

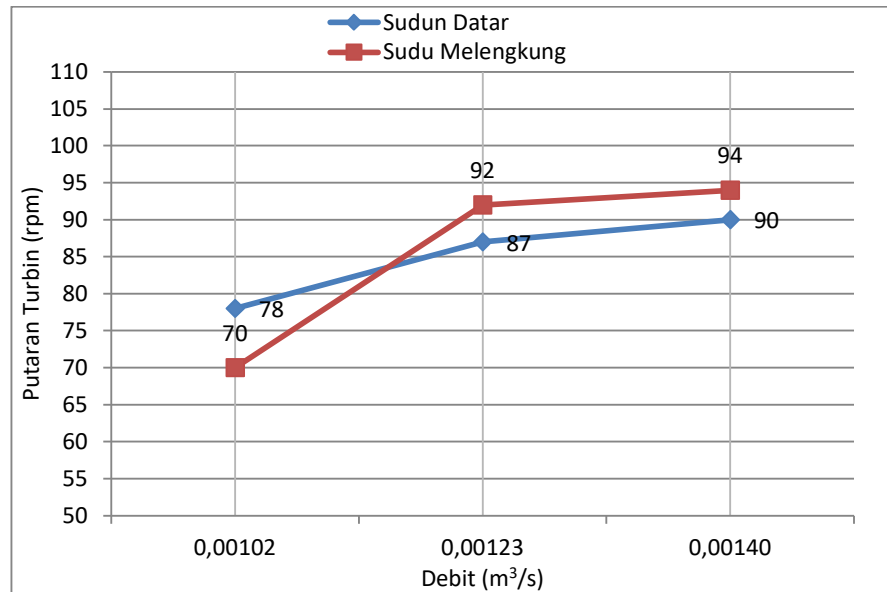
Tabel 4.20 Hasil pengolahan data jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Hidrolis (watt)	Torsi (Nm)	$\omega$ (rad/s)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (mW)	Efiseinsi Turbin (%)
1	100%	0.00140	4.39	0.156	13.08	2.04	5.82	46.49
2	75%	0.00123	3.62	0.145	15.60	2.26	13.75	62.55
3	50%	0.00102	2.70	0.134	15.91	2.14	13.20	79.03

## 4.4 Grafik dan Pembahasan

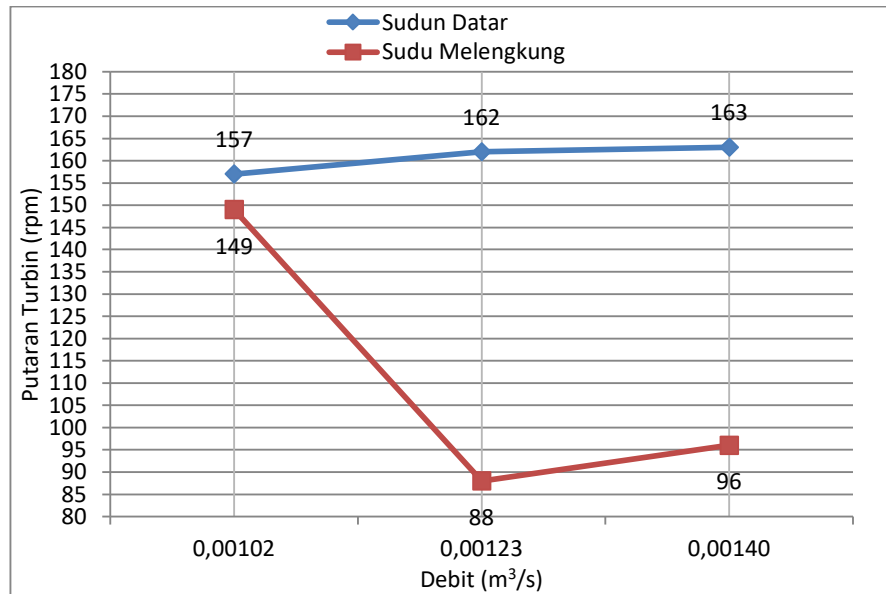
Pengaruh debit terhadap putaran, daya turbin dan efisiensi turbin dapat dilihat pada gambar grafik 4.8 – 4.13

#### 4.4.1 Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin



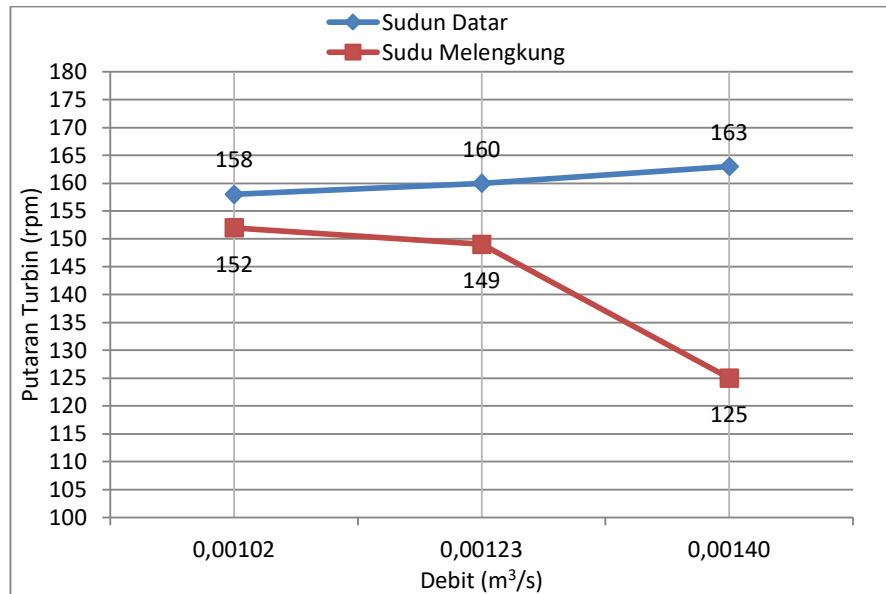
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Pada Jarak Turbin 14 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Gambar 4.9 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan debit terhadap putaran turbin pada jarak 14 cm dari permukaan rumah turbin. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan putaran turbin terhadap debit aliran. Hal tersebut dikarenakan pada saat pengisian fluida dilakukan bukaan katup secara bertahap yang mengakibatkan peningkatan debit aliran sehingga meningkatkan putaran turbin.



Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Pada Jarak Turbin 10 cm dari Permukaan Rumah Turbin

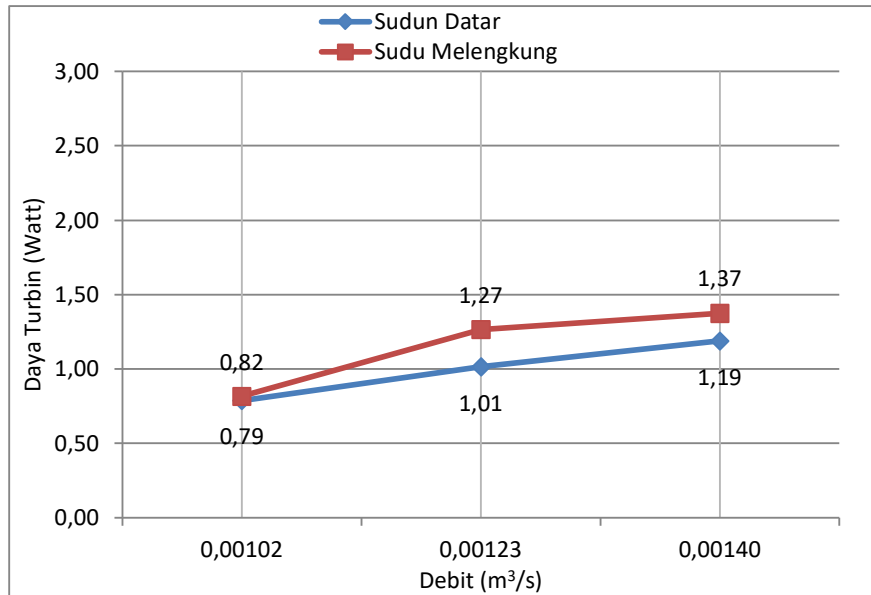
Gambar 4.10 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan debit terhadap putaran turbin pada jarak 10 cm dari permukaan rumah turbin. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan putaran turbin datar terhadap debit aliran sedangkan pada turbin melengkung mengalami fluktuatif dikarenakan pada saat pengambilan data turbin sudu melengkung daya angkat aliran fluida pada pompa mengalami ketidaksabilan sehingga menyebabkan kenaikan dan penurunan putaran turbin .



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Putaran Turbin Pada Jarak Turbin 6 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Gambar 4.11 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan debit terhadap putaran turbin pada jarak 6 cm dari permukaan rumah turbin. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan putaran turbin datar terhadap debit aliran sedangkan pada turbin melengkung mengalami penurunan dikarenakan bentuk sudu yang melengkung dan pada saat pengambilan data variasi jarak 6 cm kondisi turbin vortex hampir tenggelam sehingga mengakibatkan daya dorongan pada aliran vortex tidak bekerja secara maksimal sehingga menyebabkan penurunan putaran turbin .

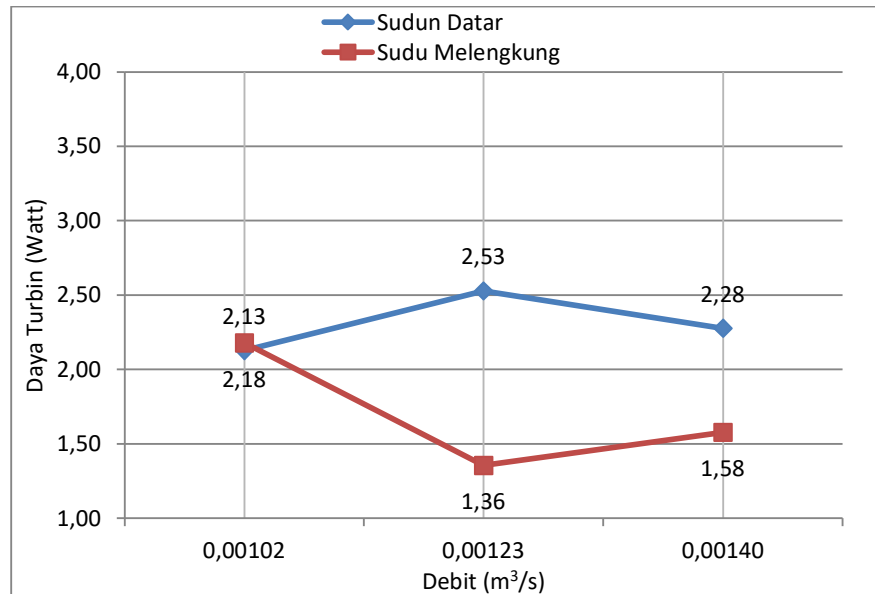
#### 4.4.2 Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin Pada Jarak Turbin 14 cm dari Permukaan Rumah Turbin

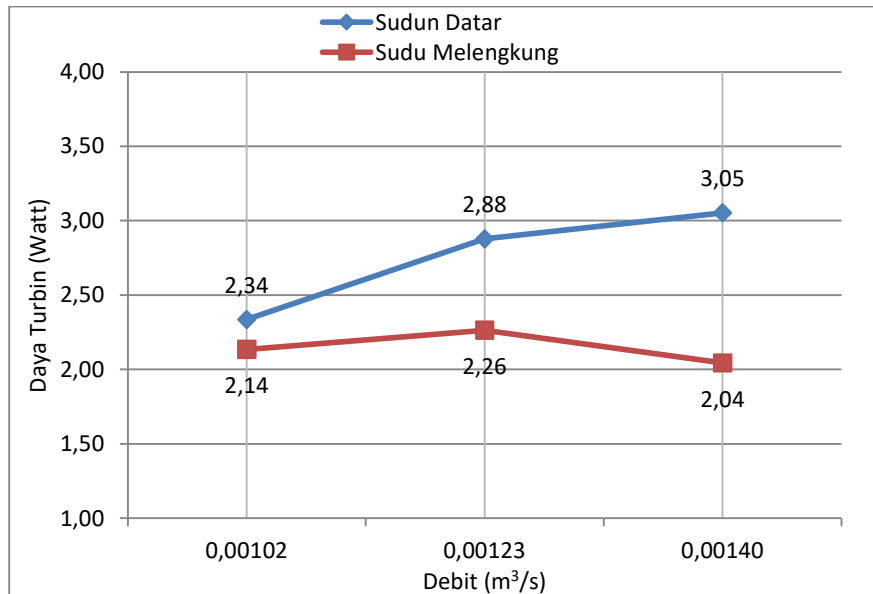
Dari grafik pengaruh debit terhadap daya turbin diatas (gambar 4.12), daya turbin semakin meningkat seiring bertambahnya debit. Nilai daya tertinggi 1,37 watt pada turbin sudu melengkung dengan debit  $0,00140 m^3/s$ , sedangkan nilai terendah 0,79 watt pada turbin sudu datar dengan debit  $0,00102 m^3/s$ . Pada jarak turbin 14 cm, aliran vorteks (pusaran air) yang terbentuk membuat turbin hampir tergelam sehingga semakin besar debit maka daya turbin juga semakin besar.





Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin Pada Jarak Turbin 10 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Dari grafik pengaruh debit terhadap daya turbin diatas (gambar 4.13), nilai daya tertinggi 2,53 watt pada turbin sudu datar dengan debit 0,00123  $m^3/s$ , sedangkan nilai terendah 1,36 watt pada turbin sudu melengkung dengan debit 0,00123  $m^3/s$ . Pada jarak turbin 10 cm kinerja turbin sudu datar lebih maksimal pada debit 0,00123  $m^3/s$ , sedangkan kinerja turbin sudu melengkung lebih maksimal pada debit 0,00102  $m^3/s$ .

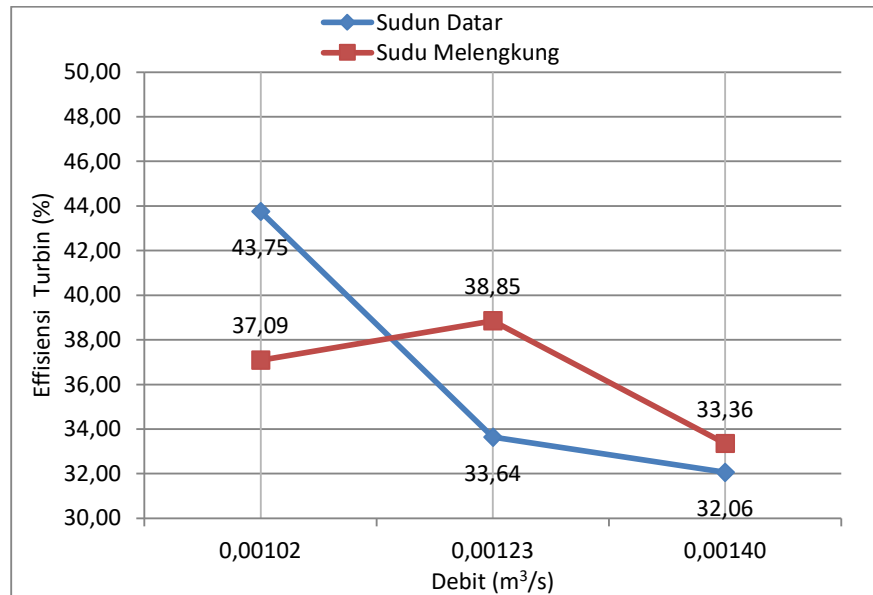


Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Daya Turbin Pada Jarak Turbin 6 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Dari grafik pengaruh debit terhadap daya turbin diatas (gambar 4.14), nilai daya tertinggi 3,05 watt pada turbin sudu datar dengan debit 0,00140  $m^3/s$ , sedangkan nilai terendah 2,04 watt pada turbin sudu melengkung dengan debit 0,00140  $m^3/s$ . pada turbin sudu datar daya turbin semakin meningkat seiring dengan bertambahnya debit, sedangkan pada turbin sudu melengkung daya turbin cenderung menurun seiring bertambahnya debit.

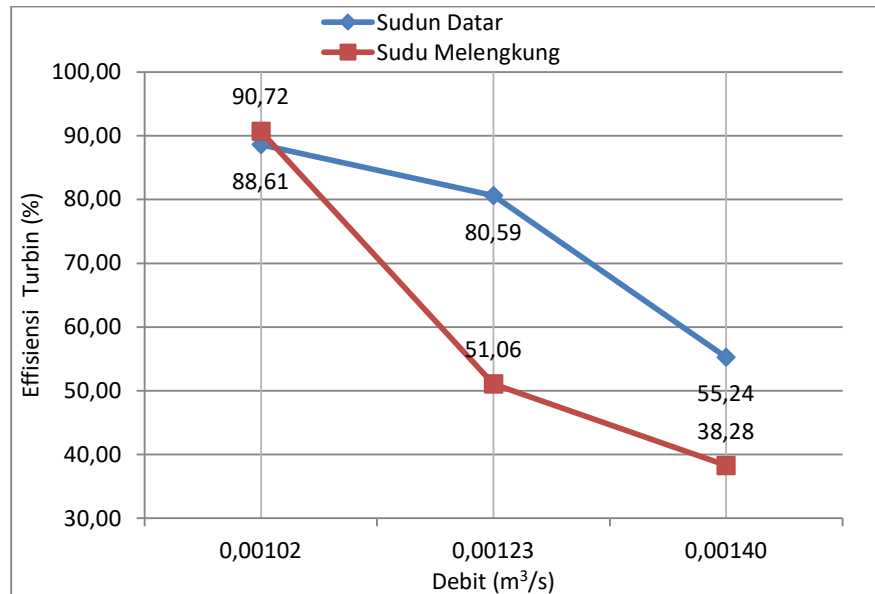
Pada tiga percobaan variasi jarak turbin diatas, dapat dilihat pada gambar grafik (4.12-4.14), daya turbin tertinggi pada turbin sudu datar dengan nilai 3,05 watt dan turbin sudu melengkung 2,26 watt, sedangkan daya turbin terendah pada turbin sudu datar 0,79 watt dan turbin sudu melengkung yaitu 0,82 watt. Perbedaan signifikan terdapat pada daya tertinggi antara turbin sudu datar dan melengkung yaitu sebesar 34,1 %.

#### 4.4.3 Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin



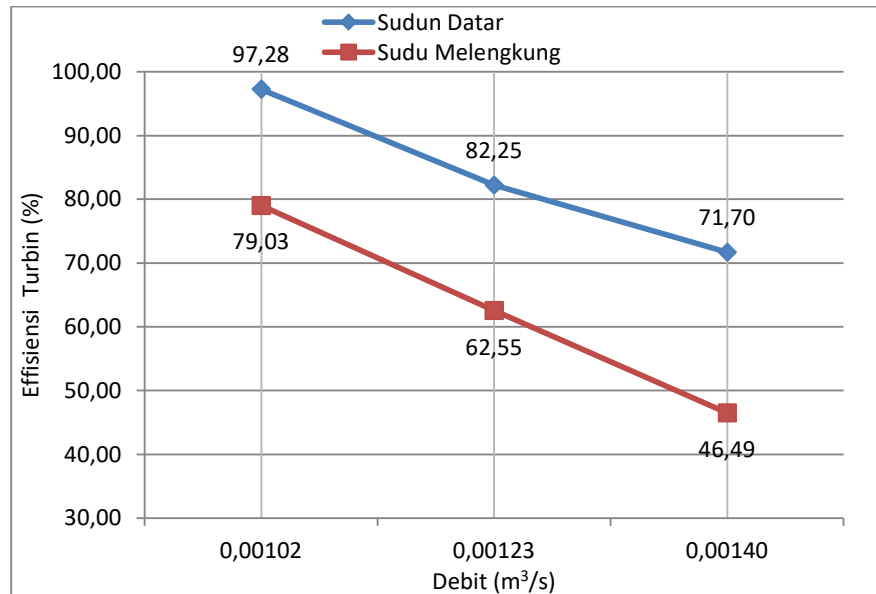
Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin Pada Jarak Turbin 14 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Dari grafik pengaruh debit terhadap efisiensi turbin diatas (gambar 4.15), nilai efisiensi tertinggi 43,75 % pada turbin sudu datar dengan debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s, sedangkan nilai efisiensi tertinggi pada turbin sudu melengkung yaitu 38,85 % dengan debit 0,00123 m<sup>3</sup>/s. Pada sudu turbin datar efisiensi semakin turun seiring dengan bertambahnya debit, sedangkan pada turbin sudu melengkung terjadi penurunan efisiensi pada debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s.



Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin Pada Jarak Turbin 10 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Dari grafik pengaruh debit terhadap efisiensi turbin diatas (gambar 4.16), nilai efisiensi tertinggi 90,72 % pada turbin sudu melengkung dengan debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s, sedangkan nilai efisiensi tertinggi pada turbin sudu datar yaitu 88,61 % dengan debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s. Pada jarak 10 cm terlihat efisiensi pada turbin sudu datar dan melengkung semakin menurun seiring bertambahnya debit.



Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Debit Terhadap Effisiensi Turbin Pada Jarak Turbin 6 cm dari Permukaan Rumah Turbin

Dari grafik pengaruh debit terhadap efisiensi turbin diatas (gambar 4.17), nilai efisiensi tertinggi 97,28 % pada turbin sudu datar dengan debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s, sedangkan nilai efisiensi tertinggi pada turbin sudu melengkung yaitu 79,03 % dengan debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s. Pada jarak turbin 6 cm efisiensi cenderung menurun seiring dengan bertambahnya debit.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

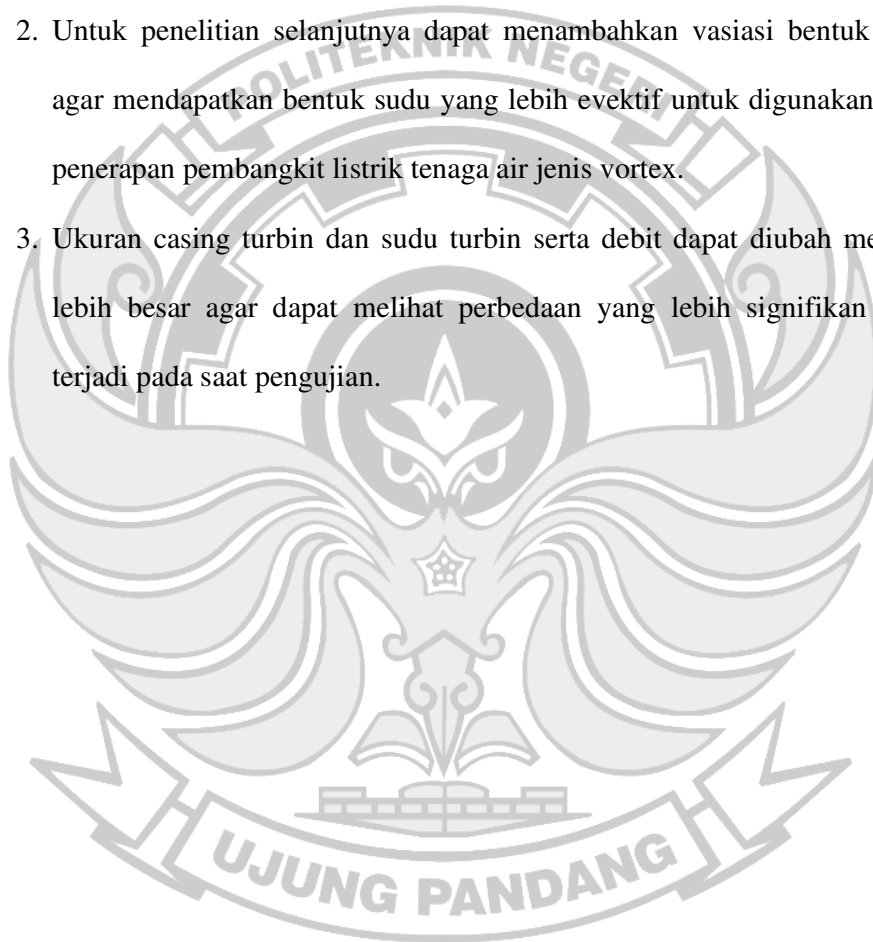
Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pembuatan, pengujian, dan pengolahan data dari dua jenis turbin maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dibuat dua jenis turbin vortex yaitu turbin sudu berpenampang datar dan turbin sudu berpenampang melengkung serta alat pengujiannya.
2. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan nilai putaran tertinggi pada turbin jenis sudu datar sebesar 163 rpm pada jarak turbin dari permukaan rumah turbin 10 cm dan 6 cm dengan debit 0,00140 m<sup>3</sup>/s, sedangkan putaran terendah pada jenis turbin sudu melengkung sebesar 70 rpm pada jarak turbin dari permukaan rumah turbin 14 cm dengan debit 0,00102 m<sup>3</sup>/s. Hal ini disebabkan karena pada jarak 14 cm turbin hampir tenggelam oleh pusaran air (vortex) yang terbentuk, sehingga pemanfaatan pusaran air tidak maksimal dan mengakibatkan kecepatan pusaran air menurun.
3. Hasil penelitian unjuk kerja turbin vortex menggunakan dua tipe penampang sudu datar dan melengkung, dimana daya yang dihasilkan pada turbin datar lebih besar dibandingkan sudu melengkung dikarenakan aliran fluida berbentuk vortex , dibutuhkan penampang sudu yang datar agar turbin bekerja secara maksimal.

## 5.2 Saran

Selah melakukan percobaan terdapat beberapa saran yang penting untuk penelitian ini atau penelitian selanjutnya yaitu :

1. Alat ukur yang digunakan sebaiknya menggunakan alat ukur yang terbaru agar dapat menentukan suatu nilai lebih akurat.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan variasi bentuk sudu agar mendapatkan bentuk sudu yang lebih efektif untuk digunakan pada penerapan pembangkit listrik tenaga air jenis vortex.
3. Ukuran casing turbin dan sudu turbin serta debit dapat diubah menjadi lebih besar agar dapat melihat perbedaan yang lebih signifikan yang terjadi pada saat pengujian.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bahrullah, M., Basri, M. H., Herlina, A., & Indarto, B. (2020). Perancangan Generator 3 Phase Pada Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP). *Jurnal Elemen*, 7(1), 46-53.
- Basri, M. H. (2020). Pengaruh Bentuk Blade Turbin L Dan S Pada Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP) Berbasis Basin Silinder. *CYCLOTRON*, 3(2).
- Baskoro, M. B., & Adiwibowo, P. H. (2017). Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Basin Cone Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 81-91.
- “Cara Kerja Turbin Vortex Komponen Utama Turbin Vortex Keunggulan Turbin Vortex.” *Text-Id.123dok.com*, [text-id.123dok.com/document/8ydm1m1yp-cara-kerja-turbin-vortex-komponen-utama-turbin-vortex-keunggulan-turbin-vortex.html](http://text-id.123dok.com/document/8ydm1m1yp-cara-kerja-turbin-vortex-komponen-utama-turbin-vortex-keunggulan-turbin-vortex.html). Accessed 25 Feb. 2022.
- Dhakal, S., Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, T. R., Pandit, H. P., & Amatya, N. (2015, July). Mathematical modeling, design optimization and experimental verification of conical basin: Gravitational water vortex power plant. In *dalam World Largest Hydro Conference*.
- Efriyasika, D., Qiram, I., & Rubiono, G. (2021). Tingkat Kekasaran Permukaan Sudu dan Sudut Input Air terhadap Unjuk Kerja Turbin Vortex. *JUSTE (Journal of Science and Technology)*, 1(2), 182-194.
- Fitroh, Hannas Kholbika, and Priyo Heru Adiwibowo. “Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung Dengan Variasi Sudut Kemiringan.” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, 24 July Accessed 24 Feb. 2022.
- Fritz Dietzel, Dakso Sriyono. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta. 1990.
- Gibran,(2014), ”Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu Dan Saluran Keluar”,USU.
- Ikhsan, H. K., Nugroho, R., Gusma, D., & Pamuji, D. S. (2020). Kajian Teknologi: Parameter Desain dan Pemodelan Numerik pada Turbin Vortex Berbasis Gravitasi. *ReTHI*, 140-148.



- Kueh, T. C., Shiao Lin Beh, Dirk Rilling, and Yongson Ooi. 2014. "Numerical Analysis of Water Vortex Formation for the Water Vortex Power Plant". *International Journal of Innovation, Management and Technology*.
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2).
- Maulana, T., & Adiwibowo, P. H. (2019). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Luas Optimum Sudu. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(3).
- Rizaldy, M. A. (2020). *Perancangan Vortex Hydro Turbine Untuk Pembangkit Listrik* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang).
- Setiawan, Wahyu. "Bagaimana Cara Kerja PLTA Membangkitkan Listrik? Ini Prinsipnya!" *Cara Mesin*, 30 Dec. 2020, [caramesin.com/prinsip-cara-kerja-plta/](http://caramesin.com/prinsip-cara-kerja-plta/). Accessed 24 Feb. 2022.
- Shabara, H. M., et al. "CFD simulation of water gravitation vortex pool flow for mini hydropower plants." *Jurnal Teknologi* 74.5 (2015).
- Simamora, M. S. (2012). *Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton* (Doctoral dissertation, Universitas Pasir Pengaraian).
- Sinaga, L., Gultom, S., bin Nur, T., Sitorus, T. B., & Ambarita, H. (2015). Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Prestasi Turbin Vortex Berpenampang Lingkaran Dengan Diameter Sudu 46 cm. *DINAMIS*, 3(1).
- Sritram, P., Treedet, W., & Suntivarakorn, R. (2015, November). Effect of turbine materials on power generation efficiency from free water vortex hydro power plant. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 103, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Subekti, R. A., Susatyo, A., & Sudibyo, H. (2015). *Perancangan Turbin Kaplan*. ISSN/ISBN/ISBN: 9-793-66886-8.
- Sudrajad, W. F. B., Rahmanto, R. H., & Handoyo, Y. (2019, July). Uji Eksperimen Efisiensi Turbin Reaksi Aliran Vortex Inlet Involut Dengan Variasi Diameter Impeller. In *Prosiding Seminar Nasional Energi & Teknologi (Sinergi)* (pp. 165-174).
- Turbin Kaplan: pengertian Dan Cara Kerjanya*, [www.gesainstech.com/2021/06/turbin-kaplan-reaksi.html](http://www.gesainstech.com/2021/06/turbin-kaplan-reaksi.html). ccessed 24 Feb. 2022.
- Tanjung, I. F., Gultom, S., Napitupulu, F. H., Pintoro, A., & Siregar, A. H. (2015). Analisa Performansi Turbin Vortex Menggunakan Perangkat Lunak Cfd

Dengan Variasi Dimensi Sudu I Dan Sudu Iii, Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang. *DINAMIS*, 3(4), 13-13.

Wahyu Didik Prasetyo, 12525101. "Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya." *Dspace.uii.ac.id*, 9 Mar. 2018, [dspace.uii.ac.id/handle/123456789/6464](https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/6464). Accessed 24 Feb. 2022.

Yusuf Randabunga, (2013) "Pengaruh Lebar Sudu Terhadap Kinerja Turbin Vortex, UGM.



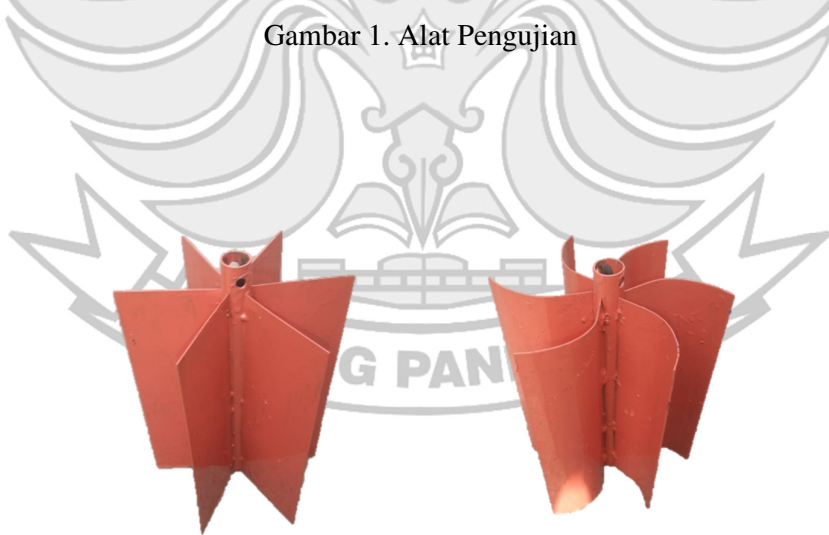


# LAMPIRAN

**Lampiran 1. Gambar Alat Pengujian**



Gambar 1. Alat Pengujian



Gambar 2. Turbin pengujian

**Lampiran 2. Gambar Pembuatan Alat Pengujian**



Gambar 3. Pemotongan Besi



Gambar 4. Proses *Finishng*





Gambar 5. Pembuatan Alas Bak Penampung Air



Gambar 6. Proses pengecatan

### Lampiran 3. Gambar Pengujin Turbin



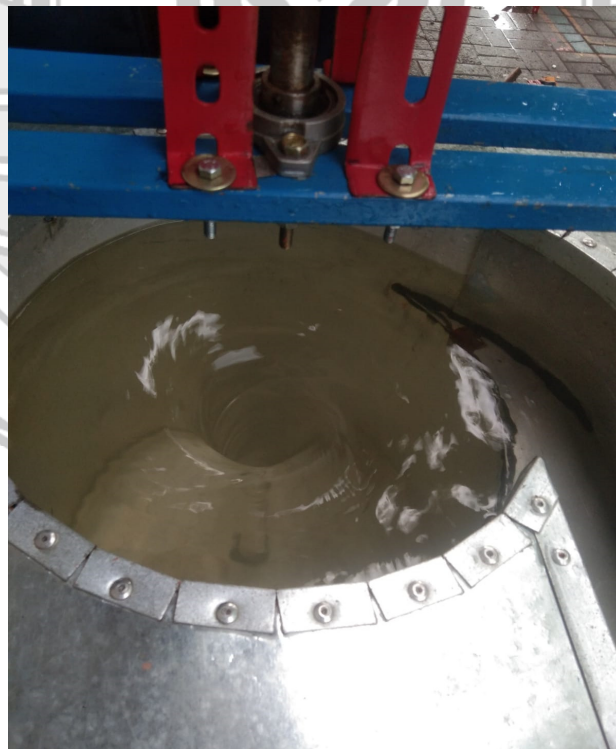
Gambar 7. Pengujian 1



Gambar 8. Pengujian 2

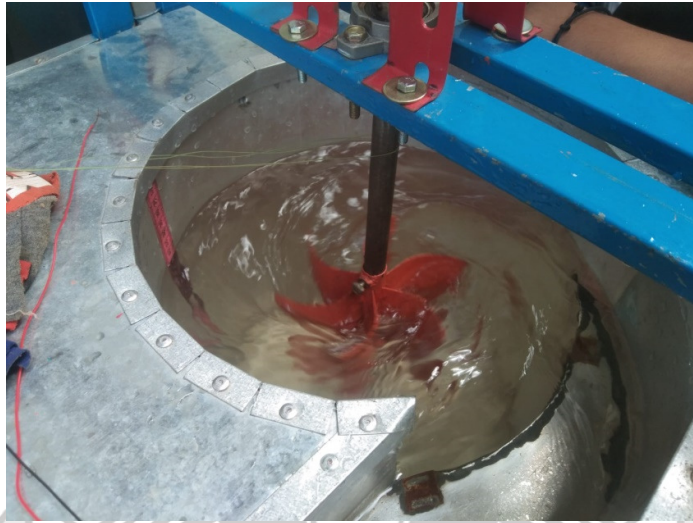


Gambar 8. Pengujian 3



Gambar 9. Pusaran Air (vortex) yang Terjadi





Gambar 10. Pengujian Turbin 1



Gambar 11. Pengujian Turbin 2



Gambar 12. Intalasi Pipa Air



Gambar 13. Outlet Casing Turbin



Gambar 14. Meteran Untuk Pengukuran Head

#### Lampiran 4. Data Hasil Pengujian

Tabel 1. Hasil pengukuran debit

No.	Bukaan Katup	Volume (L)	Waktu (s)
1	100%	10	7.12
2	75%	10	8.11
3	50%	10	9.80

#### 1. Hasil Pengujian Turbin Sudu Datar Tanpa Beban

Tabel 2. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.27	0.00140	90	1.608
2	75%	0.25	0.00123	87	1.420
3	50%	0.18	0.00102	78	1.230

Tabel 3. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.30	0.00140	163	1.700
2	75%	0.26	0.00123	162	1.900
3	50%	0.24	0.00102	157	1.650

Tabel 4. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.31	0.00140	163	2.280
2	75%	0.29	0.00123	160	2.190
3	50%	0.24	0.00102	158	1.800

## 2. Hasil Pengujian Turbin Sudu Melengkung Tanpa Beban

Tabel 5. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.30	0.00140	94	1.780
2	75%	0.27	0.00123	92	1.675
3	50%	0.22	0.00102	70	1.420

Tabel 6. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.30	0.00140	96	2.000
2	75%	0.27	0.00123	88	1.875
3	50%	0.24	0.00102	149	1.780

Tabel 7. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)	Massa (kg)
1	100%	0.32	0.00140	125	1.990
2	75%	0.30	0.00123	149	1.850
3	50%	0.27	0.00102	152	1.710

### 3. Hasil Pengujian Turbin Sudu Datar Dengan Beban

Tabel 8. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.26	0.00140	85	85	3.87	0	Tanpa Lampu
				82	82	2.80	1.00	Menggunakan Lampu
2	75%	0.24	0.00123	81	81	3.70	0	Tanpa Lampu
				80	80	2.80	0.80	Menggunakan Lampu
3	50%	0.19	0.00102	71	71	3.60	0	Tanpa Lampu
				68	68	2.76	0.40	Menggunakan Lampu

Tabel 9. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.29	0.00140	147	147	5.70	0	Tanpa Lampu
				86	86	2.87	1.20	Menggunakan Lampu
2	75%	0.26	0.00123	98	98	4.0	0	Tanpa Lampu
				89	89	2.80	1.50	Menggunakan Lampu
3	50%	0.23	0.00102	130	130	6.63	0	Tanpa Lampu
				140	140	3.00	4.15	Menggunakan Lampu

Tabel 10. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.31	0.00140	160	160	7.40	0	Tanpa Lampu
				152	152	3.00	2.10	Menggunakan Lampu
2	75%	0.29	0.00123	158	158	7.31	0	Tanpa Lampu
				148	148	3.00	5.00	Menggunakan Lampu
3	50%	0.25	0.00102	150	150	6.80	0	Tanpa Lampu
				148	148	3.00	5.00	Menggunakan Lampu

#### 4. Hasil Pengujian Turbin Sudu Melengkung Dengan Beban

Tabel 11. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 14 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.28	0.00140	89	89	4.10	0	Tanpa Lampu
				88	88	2.87	1.50	Menggunakan Lampu
2	75%	0.27	0.00123	90	90	4.20	0	Tanpa Lampu
				90	90	2.88	1.67	Menggunakan Lampu
3	50%	0.20	0.00102	87	87	4.00	0	Tanpa Lampu
				84	84	2.87	1.40	Menggunakan Lampu

Tabel 12. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 10 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.30	0.00140	87	87	3.75	0	Tanpa Lampu
				83	83	2.84	1.00	Menggunakan Lampu
2	75%	0.29	0.00123	85	85	3.60	0	Tanpa Lampu
				83	83	2.81	0.70	Menggunakan Lampu
3	50%	0.24	0.00102	112	112	5.15	0	Tanpa Lampu
				109	109	2.24	2.25	Menggunakan Lampu

Tabel 13. Hasil pengukuran jarak sudu dari permukaan rumah turbin 6 cm

No.	Bukaan Katup	Head (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Putaran (rpm)		Tegangan (V)	Arus (mA)	Beban
				Turbin	Generator			
1	100%	0.32	0.00140	120	120	4.30	0	Tanpa Lampu
				102	102	2.91	2.00	Menggunakan Lampu
2	75%	0.30	0.00123	145	145	6.80	0	Tanpa Lampu
				140	140	2.99	4.60	Menggunakan Lampu
3	50%	0.26	0.00102	144	144	6.70	0	Tanpa Lampu
				142	142	3.00	4.40	Menggunakan Lampu