

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI DIAMETER
IMPELLER DAN TINGGI JATUH AIR TERHADAP PEFORMA
TURBIN VORTEX**



Disusun Oleh :

GAMMA ALAN SUKMA

16.331.0535

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI DIAMETER
IMPELLER DAN TINGGI JATUH AIR TERHADAP PERFORMA

TURBIN VORTEX

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Disusun Oleh :

GAMMA ALAN SUKMA

NPM : 16.331.0535

Disetujui Oleh :

PEKANBARU

EDDY ELFIANO, S.T., M.Eng
Dosen Pembimbing


Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI DIAMETER
IMPELLER DAN TINGGI JATUH AIR TERHADAP PERFORMA
TURBIN VORTEX

Disusun Oleh :

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

GAMMA ALAN SUKMA

NPM : 16.331.0535

Disetujui :

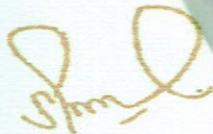
PEMBIMBING



EDDY ELFIANO, S.T., M.Eng

NIDN. 1025057301

PENGUJI I



SEHAT ABDI SARAGIH, S.T., M.T

NIDN : 1012107502

PENGUJI II

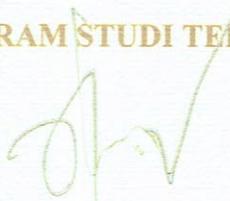


RAFIL ARIZONA, S.T., M.Eng

NIDN : 1028108902

Disahkan Oleh :

KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN



JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., PhD

NIDN. 1009038504

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : GAMMA ALAN SUKMA

NPM : 163310535

PROGRAM STUDI : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul “**Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Diameter Impeller Dan Tinggi Jatuh Air Terhadap Peforma Turbin Vortex**” yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Apabila di kemudian hari ada yang merasa dirugikan dan atau menuntut karena penelitian ini menggunakan sebagian hasil tulisan atau karya orang lain tanpa mencantumkan nama penulis yang bersangkutan, atau terbukti karya ilmiah ini **bukan** karya saya sendiri atau **plagiat** hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pekanbaru, 25 Juli 2022



GAMMA ALAN SUKMA
163310535

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya kita persembahkan kepada Allah SWT. Dengan Rahmat Nya kita masih mempunyai kekuatan kesehatan dan hidayah sehingga dapat menjalankan segala aktifitas sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Yang kita harapkan dapat menghantar kita kepada RidhaNya. Shalawat beriring salam kita hadiahkan kepada Rasulullah SAW. Semoga kita mampu untuk menauladani Beliau dalam setiap perkataan dan tingkah laku kita. Dan harapan terakhir kita kelak menjadi bagian diantara penghuni – penghuni Surga Allah, Amin.

Pada tugas akhir ini penulis mengambil judul yakni “**Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Diameter *Impeller* Dan Tinggi Jatuh Air Terhadap Peforma Turbin *Vortex***”. Yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan moril maupun materil kepada penulis.
2. Bapak Eddy Elfiano, S.T., M.Eng selaku Pembimbing Tugas Sarjana Penulis.
3. Bapak Jhonny Rahman. B. Eng., M. Eng., Phd selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona, S.T., M.Eng selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau sekaligus tim penguji.
5. Bapak Sehat Abdi Saragih, S.T., M.T selaku tim penguji yang juga memberi arahan yang sangat baik.
6. Bapak dan ibu dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Aldo Rao Rivaldo, S.T, Ibnu Rasyid dan rekan-rekan kelas B seperjuangan yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir.

8. Alewndra Baluev yang telah memberikan semangat, motivasi dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan waktu, pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Pekanbaru, 28 Juni 2022

GAMMA ALAN SUKMA



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengenalan Dan Perkembangan Turbin Air	5
2.2 Mesin-Mesin Fluida	5
2.3 Turbin Air	6
2.3.1 Jenis-Jenis Turbin Air	7
2.4 Turbin <i>Vortex</i>	13
2.4.1 Klasifikasi <i>Vortex</i>	15
2.4.2 Keunggulan Pada Turbin <i>Vortex</i>	16
2.4.3 Cara Kerja Turbin <i>Vortex</i>	16
2.5 Komponen-Komponen Pada Turbin Air	17
2.6 Perbandingan Karakteristik Turbin Air	18
2.7 Klasifikasi Turbin	19
2.7.1 Klasifikasi Berdasarkan Ketinggian Jatuh Air	19

2.8 Pengaruh Diameter <i>Impeller</i> Pada Turbin <i>Vortex</i>	20
2.9 Pengaruh Tinggi Jatuh Air Pada Turbin <i>Vortex</i>	20
2.10 Persamaan-Persamaan Pendukung Dalam Analisa Turbin <i>Vortex</i>	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Studi Literatur	26
3.3 Tempat Penelitian.....	26
3.4 Alat Dan Bahan Yang Digunakan	27
3.4.1 Alat	27
3.4.2 Bahan	31
3.5 Metode Pengambilan Data	32
3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian	34
4.1.1 Debit Air Masuk <i>Impeller</i> (Q)	34
4.1.2 Putaran (n)	35
4.1.3 Tinggi <i>Vortex</i> (H_v)	38
4.1.4 Torsi (τ).....	40
4.1.5 Tegangan listrik (V) Dan Arus Listrik DC (A).....	41
4.2 Hasil Dan Pembahasan Pada Setiap Variasi Diameter <i>Impeller</i> Dan Tinggi Jatuh Air Turbin <i>Vortex</i>	44
4.2.1 Perhitungan <i>Impeller</i> Diameter 16 cm Pada Tinggi Jatuh Air 4 cm	44
4.3 Grafik Dan Analisa Hasil Pembahasan Pada Setiap Variasi Diameter <i>Impeller</i> Dan Tinggi Jatuh Air Turbin <i>Vortex</i>	53

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 60
5.2 Saran 61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

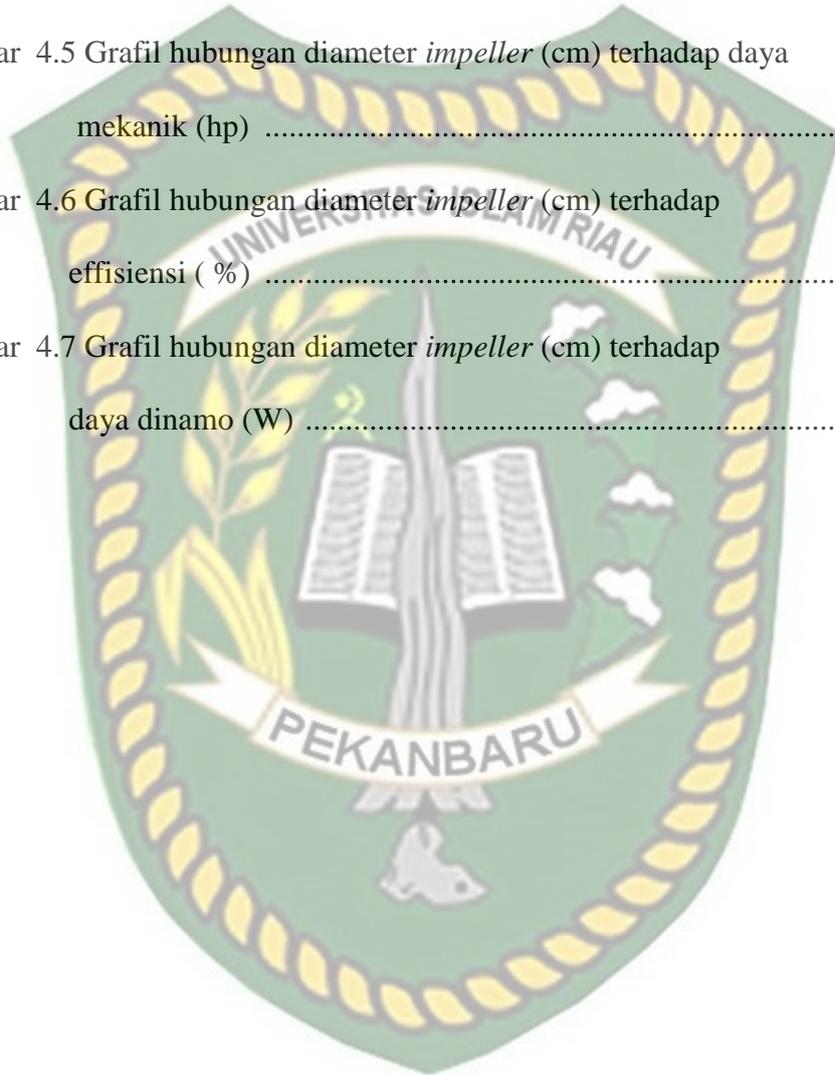


Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Impeller</i> turbin pelton.....	8
Gambar 2.2 Turbin pelton	9
Gambar 2.3 Turbin <i>crossflow</i>	10
Gambar 2.4 Turbin <i>francis</i>	12
Gambar 2.5 Turbin kaplan	13
Gambar 2.6 Turbin <i>vortex</i>	14
Gambar 2.7 Aliran <i>vortex</i>	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Tempat Penelitian	26
Gambar 3.3 Turbin <i>vortex</i>	27
Gambar 3.4 <i>Tachometer</i>	28
Gambar 3.5 Penggaris	29
Gambar 3.6 Multitester	29
Gambar 3.7 <i>Handphone</i>	30
Gambar 3.8 Talang Air	30
Gambar 3.9 Kunci pas dan <i>ring</i>	31
Gambar 3.10 Bentuk <i>impeller</i> yang digunakan	31
Gambar 4.1 Grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) terhadap debit (m^3/s)	53
Gambar 4.2 Grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) terhadap daya hidrolik (W)	54

Gambar 4.3 Grafik hubungan diameter <i>impeller</i> (cm) terhadap kecepatan angular (rad/s)	55
Gambar 4.4 Grafil hubungan diameter <i>impeller</i> (cm) terhadap torsi (Nm)	56
Gambar 4.5 Grafil hubungan diameter <i>impeller</i> (cm) terhadap daya mekanik (hp)	57
Gambar 4.6 Grafil hubungan diameter <i>impeller</i> (cm) terhadap effisiensi (%)	58
Gambar 4.7 Grafil hubungan diameter <i>impeller</i> (cm) terhadap daya dinamo (W)	59



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi turbin air berdasarkan tinggi jatuh air	19
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian	33
Tabel 4.1 Data debit air masuk <i>impeller</i> (Q)	34
Tabel 4.2 Data hasil putaran <i>impeller</i> diameter 16 cm	35
Tabel 4.3 Data hasil putaran <i>impeller</i> diameter 18 cm	36
Tabel 4.4 Data hasil putaran <i>impeller</i> diameter 20 cm	37
Tabel 4.5 Tinggi <i>vortex</i> (H_v) pada <i>impeller</i> diameter 16 cm	38
Tabel 4.6 Tinggi <i>vortex</i> (H_v) pada <i>impeller</i> diameter 18 cm	39
Tabel 4.7 Tinggi <i>vortex</i> (H_v) pada <i>impeller</i> diameter 20 cm	39
Tabel 4.8 Massa dan panjang poros	40
Tabel 4.9 Tegangan listrik (V) dan arus listrik DC (A) pada <i>impeller</i> diameter 16 cm	41
Tabel 4.10 Tegangan listrik (V) dan arus listrik DC (A) pada <i>impeller</i> diameter 18 cm	42
Tabel 4.11 Tegangan listrik (V) dan arus listrik DC (A) pada <i>impeller</i> diameter 20 cm	43
Tabel 4.12 Data hasil pengujian pada <i>impeller</i> diameter 16 cm	50
Tabel 4.13 Data hasil pengujian pada <i>impeller</i> diameter 18 cm	51
Tabel 4.14 Data hasil pengujian pada <i>impeller</i> diameter 20 cm	52

DAFTAR NOTASI

Parameter	Simbol	Satuan
• Debit Air	Q	m^3/s
• Kecepatan Aliran Air	v	m/s
• Area	A	m^2
• Jarak	s	m
• Waktu	t	s
• Lebar Kanal	l	m
• Kedalaman Kanal	h	m
• Torsi	τ	Nm
• Kecepatan Angular Sudut	ω	rad/s
• Putaran	n	Rpm
• Daya Hidrolik	P_{hid}	$Watt$
• Gaya Gravitasi	G	m/s^2
• Massa Jenis Air	ρ	kg/m^3
• Tinggi <i>Vortex</i>	H_v	m
• Daya Mekanik	P_{mek}	$Watt / hp$
• Efisiensi	η	$\%$

STUDI EKPERIMENTAL PENGARUH VARIASI DIAMETER IMPELLER DAN TINGGI JATUH AIR TERHADAP PERFORMA TURBIN *VORTEX*

Gamma Alan Sukma¹, Eddy Elfiano ST., M. Eng²

¹s1 Teknik Mesin Universitas Islam Riau, ²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas
Teknik, Universitas Islam Riau

Abstrak

kebutuhan energi akan selalu meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan industri. Penelitian pada saat ini mengarah kepada energi alternatif yang inovatif dan tepat guna. Salah satu sumber energi yang banyak dilakukan pada penelitian adalah pemanfaatan aliran air sebagai pembangkit listrik *microhydro* yang dapat digunakan untuk mengkonversikan aliran air menjadi energi listrik. Turbin *vortex* adalah salah satu dari klasifikasi didalam turbin *microhydro* yang memanfaatkan pusaran air untuk menggerakkan sudunya. Turbin *vortex* mempunyai *head* yang relatif rendah, yaitu 0,7 m – 3m dengan debit 50 L/s. Turbin dengan jenis ini sangat cocok apabila digunakan untuk aliran sungai, karena kebanyakan sungai memiliki *head* yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan turbin *vortex* dengan peforma yang baik, baik dari segi daya yang dihasilkan maupun dari segi efisiensi dengan memvariasikan diameter *impeller* dan tinggi jatuh air untuk mendapatkan peforma turbin yang lebih baik. Adapun variasi diameter *impeller* yang dimaksud adalah 16 cm, 18 cm, dan 20 cm. Sementara untuk variasi tinggi jatuh air yang dimaksud adalah 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, dan 20 cm. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu *impeller* diameter 16 cm dengan tinggi jatuh air 20 cm menghasilkan daya mekanik (P_{mek}) dan efisiensi turbin (η) terbesar diantara *impeller* dan tinggi jatuh air lainnya yaitu daya mekanik (P_{mek}) sebesar 18,409 W atau 0,0247 hp, daya dinamo (P_{Dinamo}) sebesar 7,795 W dan efisiensi turbin (η) sebesar 60,645 %.

Kata Kunci : Turbin *vortex*, turbin *microhydro*, diameter *impeller*, tinggi jatuh air

**EXPERIMENTAL STUDY OF IMPELLER DIAMETER VARIATIONS AND
WATER FALL HEIGHT VARIATIONS ON VORTEX TURBINE
PERFORMANCE**

Gamma Alan Sukma¹, Eddy Elfiano ST., M. Eng²

¹s1 Mechanical Engineering, Islamic University of Riau, ²Department of
Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic University of Riau

Abstract

Energy needs will always increase along with technological and industrial developments. Research at this time leads to alternative energy that is innovative and effective. One of the energy sources that is widely used in research is the use of water flow as a microhydro power plant that can be used to convert water flow into electrical energy. Vortex turbines are one of the classifications in microhydro turbines that utilize whirlpools to move the blades. The vortex turbine has a relatively low head, which is 0.7 m – 3 m with a discharge of 50 L/s. This type of turbine is very suitable when used for river flow, because most rivers have low heads. The purpose of this study was to obtain a vortex turbine with good performance, both in terms of the power produced and in terms of efficiency by varying the impeller diameter and water drop height to get better turbine performance. The impeller diameter variations are 16 cm, 18 cm, and 20 cm. Meanwhile, the variations in the height of the water fall are 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, and 20 cm. The results of this study are the impeller with a diameter of 16 cm with a water drop height of 20 cm produces the largest mechanical power (P_{mek}) and turbine efficiency (η_t) among impellers and other water fall heights, namely mechanical power (P_{mek}) of 18.409 W or 0.0247 hp. , dynamo power (P_{Dinamo}) is 7,795 W and turbine efficiency (η_t) is 60,645%.

Keywords: *Vortex turbine, microhydro turbine, impeller diameter, water fall height*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi pada sekarang ini semakin berkurang akibat berlebuhnya penggunaan energi konvensional (minyak dan gas bumi serta batu bara), kebutuhan energi akan selalu meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan industri. Penelitian pada saat ini mengarah kepada energi alternatif dan banyak dibuat peralatan-peralatan yang inovatif dan tepat guna (Ray Posdam dan Syahril Gultom, 2014). Pengembangan potensi dari sumber energi alternatif tersebut seperti energi surya, angin, biogas, air dan sebagainya untuk kebutuhan energi listrik. Contohnya pada teknik mesin terutama di bidang konversi energi dalam pemanfaatan alam sebagai sumber energi. Saat ini salah satu sumber energi yang banyak dilakukan penelitian adalah pemanfaatan aliran air sebagai pembangkit listrik *microhydro* yang dapat digunakan untuk mengkonversikan aliran air menjadi energi listrik (Arif Muliawan dan Ahmad Yani, 2016).

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) menjadi pilihan utama dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan, namun pemanfaatan yang ada masih mengandalkan teknologi yang sederhana. Pembangkit listrik jenis ini dalam pembuatannya sangat ekonomis namun masih dalam skala kecil, artinya pembangkit listrik seperti ini hanya mampu mencukupi pemakaian energi listrik untuk sejumlah rumah saja (Irwan, Syahril, Sabri, Dian, dan Husein 2018). Jenis pembangkit listrik tenaga air ini disebut juga dengan *mikrohydro* atau *picohydro* tergantung daya listrik yang dihasilkan. Teknologi ini memiliki komponen utama yaitu turbin air dan generator listrik. Turbin air digunakan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Putaran poros turbin akan diubah oleh generator menjadi energi listrik. *Microhydro* atau *picohydro* dibuat dengan memanfaatkan aliran air dengan *head* yang tinggi, sedangkan untuk aliran air dengan *head* yang kecil belum dimanfaatkan dengan optimal. Di Indonesia terdapat potensi air sungai yang

berasal dari 5560 aliran sungai yang tersebar di berbagai pulau di Indonesia. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan potensi aliran air dengan mengubahnya menjadi aliran *vortex* (pusaran air) (Gatot Suwoto dan Suptiyo, 2018).

Turbin *vortex* adalah jenis turbin *microhydro* yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin *vortex* bekerja pada *head* rendah 0,7 m - 3 m dengan debit 50 L/s. Turbin *vortex* ini cocok digunakan untuk aliran irigasi, karena kebanyakan aliran irigasi memiliki *head* yang rendah (Sena Aripriasetya, 2018). Pada penelitian yang dilakukan Irwan (2018) melakukan penelitian terhadap uji performansi pengaruh diameter *impeller* turbin *vortex*. Variasi diameter *impeller* yang digunakan 15,5 cm, 18,5 cm 21 cm. Dari pengujian turbin *vortex* tersebut dihasilkan daya listrik maksimum 6,435 Watt dengan efisiensi maksimum 64,323%. Dan pada penelitian yang dilakukan oleh Suriyanto (2016) tentang analisis pengaruh tinggi jatuhnya air (*head*) terhadap daya pembangkit listrik tenaga *microhydro* turbin *vortex*, dari penelitian tersebut pada *head actual* 60,6 cm dengan *head effective* 40,4 cm menghasilkan daya turbin 13,749 watt dan daya *microhydro* 12,374 watt. Semakin tinggi jatuh air (*head actual*) dan semakin banyak debit air yang keluar dari *nozzle* maka semakin besar juga tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin *microhydro*.

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan variasi diameter *impeller* terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *vortex* begitu juga dengan tinggi jatuh air. Pada penelian ini akan dilakukan studi eksperimental variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air terhadap peforma turbin *vortex*, penelitian ini dilakukan secara pasif menggunakan saluran irigasi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air terhadap peforma turbin *votex*?
2. Diameter *impeller* dengan variasi tinggi jatuh air berapakah yang menghasilkan peforma terbaik pada turbin *vortex*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air terhadap peforma turbin *votex*.
2. Mendapatkan *impeller* dengan variasi tinggi jatuh air berapakah yang menghasilkan peforma terbaik pada turbin *vortex*.

1.4 Batasan Masalah

Dari tujuan penelitian diatas penulis memberikan batasan masalah agar memberikan arah yang jelas pada penelitian ini, maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Diameter *impeller* turbin yang akan dibuat dengan variasi 16 cm, 18 cm dan 20 cm.
2. Tinggi jatuhnya air yang akan dibuat dengan variasi 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm dan 20 cm.
3. Jumlah *blade* pada *impeller* yang akan digunakan adalah 4 buah *blade* dan 3 buah *impeller*.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang digunakan dalam penulisan penelitian turbin *vortex* ini adalah :

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan teori dasar aliran, pengertian turbin air, komponen serta jenis-jenis turbin beserta gambar dan persamaan yang digunakan dalam analisa turbin *vortex*.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi diagram alir penelitian, studi literatur, alat dan bahan, prosedur pengujian dan jadwal kegiatan penelitian.

Bab IV Hasil Dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang penguraian data dan perhitungan debit air, kecepatan sudut, daya hidrolik, torsi, daya mekanik turbin dan efisiensi pada turbin *vortex*.

Bab V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan Dan Perkembangan Turbin Air

Pada awal abad 19 kata *turbine* ditemukan oleh seorang insinyur Prancis yang bernama Claude Bourdin, kata turbin diambil dari terjemahan bahasa latin yaitu kata *whirling* (putaran) atau *vortex* (pusaran air). Pada tahun 1700 Jan Andrej Segner mengembangkan turbin reaksi, turbin tersebut mempunyai sumbu horizontal dan turbin reaksi ini merupakan mesin sederhana yang masih diproduksi saat ini untuk pembangkit listrik berskala kecil. Pada tahun 1820 Jean Victor Poncelet mengembangkan turbin aliran kedalam. Pada tahun 1826 Benoit Fourneyon mengembangkan turbin aliran keluar, turbin ini memiliki efisiensi 80% yang dapat mengalirkan air melalui saluran dengan sudu lengkung. Pada tahun 1844 Uriah A. Boyden mengembangkan turbin aliran keluar yang dapat meningkatkan performa dari turbin Fourneyon, pada penelitian Boyden bentuk sudu turbin dibuat serupa dengan bentuk sudu turbin *francis*. Pada tahun 1849 James B. Francis telah meningkatkan efisiensi turbin reaksi aliran kedalam mencapai 90% lebih. Turbin *francis* merupakan turbin air *modern* pertama, turbin ini masih sering digunakan secara luas pada saat ini. Turbin air aliran kedalam memiliki susunan mekanis yang lebih baik dan semua turbin reaksi menggunakan desain seperti turbin air aliran kedalam (Cristian Asri Wicaksana dan Faqih Fadillah, 2015).

2.2 Mesin-Mesin Fluida

Mesin fluida adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi fluida (energi kinetis dan energi potensial) atau sebaliknya yaitu merubah energi fluida menjadi energi mekanis, klasifikasi mesin fluida dibagi menjadi 2 bagian (Kasbi, 2014) yaitu:

1. Mesin-mesin kerja

Mesin kerja adalah mesin fluida yang dapat mengkonversikan energi kinetis menjadi energi potensial.

Contoh : Kompresor, pompa, *fan*, dan *blower*.

2. Mesin-mesin tenaga

Mesin tenaga adalah mesin fluida yang dapat mengkonversikan energi fluida potensial menjadi energi kinetis.

Contoh : Kincir air dan turbin air.

2.3 Turbin Air

Turbin merupakan mesin penggerak dimana energi fluida kerja dipergunakan untuk memutar sudu-sudu turbin. Secara umum, turbin adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Aliran air yang mengalir pada turbin diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar rotor, sehingga putaran rotor yang akan salurkan oleh *belt*, puli ataupun *gearbox* yang terhubung pada generator akan mengubah putaran yang dihasilkan dikonversikan menjadi energi listrik (Nugroho, 2015).

Bagian yang bergerak pada turbin dinamakan rotor atau sudu turbin, sedangkan pada bagian yang tidak bergerak yaitu stator atau rumah turbin. Turbin memiliki 2 jenis sudu tetap (*stationary blade*) dan sudu putar (*rotary blade*). Sudu tetap (*stationary blade*) adalah sudu yang tidak ikut berputar bersama poros dan berfungsi sebagai mengarahkan aliran fluida, sedangkan sudu (*rotary blade*) adalah sudu yang mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbulnya gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tidak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan (Gibran, 2014).

Turbin konvensional, pada mesin penggerak mula atau *prime movers* ada tiga macam kelompok yaitu :

1. Turbin uap menggunakan media kerja uap
2. Turbin air menggunakan media kerja air

3. Turbin gas menggunakan media kerja gas yang bertekanan.

Dengan ketiga macam turbin diatas, mempunyai kemiripan dalam konstruksinya, namun berbeda dalam termodinamkannya, karena fluida kerja yang tidak sama.

Dibawah ini terdapat keuntungan-keuntungan pada turbin air, antara lain sebagai berikut :

1. Tempat yang diperlukan untuk menempatkan turbin lebih kecil.
2. Dapat dioperasikan dengan kecepatan yang sangat tinggi.
3. Turbin air mempunyai efisiensi yang relatif baik.
4. Dapat membangkitkan daya listrik yang sangat besar dengan ukuran yang relatif kecil.

2.3.1 Jenis - Jenis Turbin Air

Turbin air dapat dikelompokkan dengan berbagai cara. Menurut (tanjung, 2013), jenis turbin air dapat dibedakan menjadi tiga sesuai dengan *range* dari *head*-nya, yaitu :

1. Turbin dengan *head* rendah
2. Turbin dengan *head* medium
3. Turbin dengan *head* tinggi.

Sedangkan menurut cara kerjanya, turbin dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Turbin Impuls (aksi)
2. Turbin Reaksi.

1. Turbin *impuls*

Turbin *impuls* adalah turbin air yang merubah seluruh energi air (terdiri dari energi potensial, tekanan dan kecepatan) dikonversikan menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir dalam bentuk putaran poros. Atau energi potensial pada air diubah menjadi energi kinetik pada

nosel. Turbin *impuls* ialah turbin yang tekanannya sama karena aliran yang keluar dari nosel sama dengan tekanan yang berada di atmosfer sekitarnya. Contoh turbin *impuls* yaitu : turbin pelton dan turbin *crossflow*.

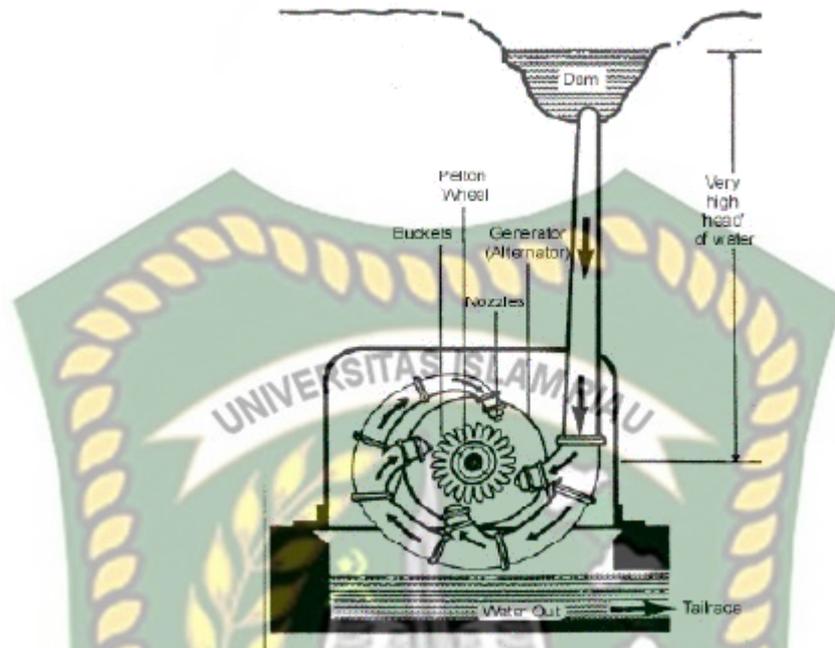
A. Turbin pelton

Tubin pelton termasuk kedalam turbin *impuls*. Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang digerakkan oleh semprotan pancaran air pada satu atau lebih alat yaitu nosel. Turbin pelton ialah satu dari beberapa jenis turbin yang sangat efisien dan turbin ini cocok untuk digunakan pada *head* tinggi (Gibran, 2017).



Gambar 2.1 *Impeller* turbin pelton (sembiring, 2017)

Bentuk *impeller* turbin mempunyai dua bagian yang simetris. Sudu dibuat sedemikian agar pancaran air mengenai tengah-tengah *impeller* yang membuat pancaran air akan berbelok kedua arah sehingga mampu membalikkan pancaran air dengan baik dan dapat melepaskan sudu dari gaya-gaya samping. Pada turbin dengan daya yang cukup besar, sistem penyemprotan airnya dipisah melalui sebagian nosel. Dengan demikian diameter pancaran air dapat diperkecil serta ember sudu jauh lebih kecil. Untuk turbin pelton pembangkit skala besar memerlukan *head* lebih kurang 150 meter namun pada skala *micro head* 20 meter telah mencukupi.



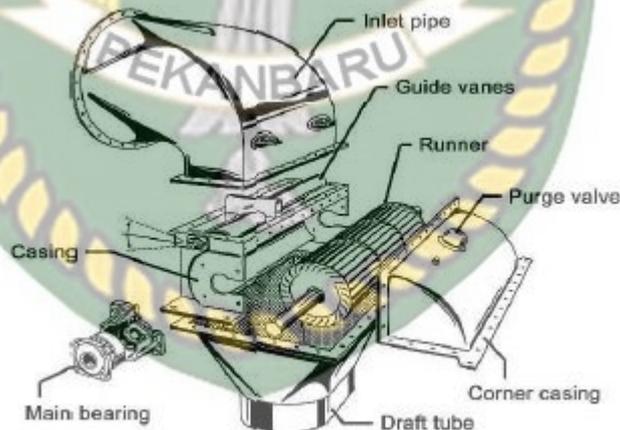
Gambar 2.2 Turbin pelton (Kasbi, 2014)

B. Turbin *crossflow*

Turbin *Crossflow* termasuk kategori turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini pertama kali ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Setelah itu turbin ini dikembangkan serta dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini dinamai Turbin Banki atau bisa disebut juga Turbin Michell-Ossberger. Penggunaan Turbin tipe *crossflow* lebih menguntungkan dibandingkan penggunaan kincir air ataupun tipe turbin mikro hidro yang lain. Pemakaian turbin ini pada daya yang sama bisa menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari pemakaian kincir air dengan bahan yang sama. Penggunaan Turbin *crossflow* lebih kecil dapat lebih efisien dan lebih kompak dibanding menggunakan kincir air. Diameter kincir air biasanya roda jalan atau *runner* nya berukuran 2 meter ke atas, tetapi pada diameter turbin *crossflow* bisa dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang diperlukan jauh lebih sedikit, itulah yang membuatnya bisa lebih murah. Sehingga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin *crossflow* lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Pengujian yang

dilakukan pada laboratorium oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat mendapatkan hasil dan menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya memperoleh 70 % sedangkan pada efisiensi turbin *crossflow* mendapatkan hasil 82 %. Tingginya efisiensi yang diperoleh pada turbin *crossflow* karena pemanfaatan energi air turbin ini dilakukan sebanyak dua kali, pertama energi tumbukan air yang terdapat pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adanya daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan keluar dari *runner*. kerja air yang dilakukan secara bertingkat ternyata memberikan keuntungan pada efektifitasnya yang tinggi dan juga kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*. Turbin *crossflow* dapat dibagi menjadi dua macam tipe yaitu :

1. Tipe T1, yaitu turbin *crossflow* kecepatan rendah.
2. Tipe T3, yaitu turbin *crossflow* kecepatan tinggi (putra, 2018).



Gambar 2.3 Turbin crossflow (Prasetyo, 2018)

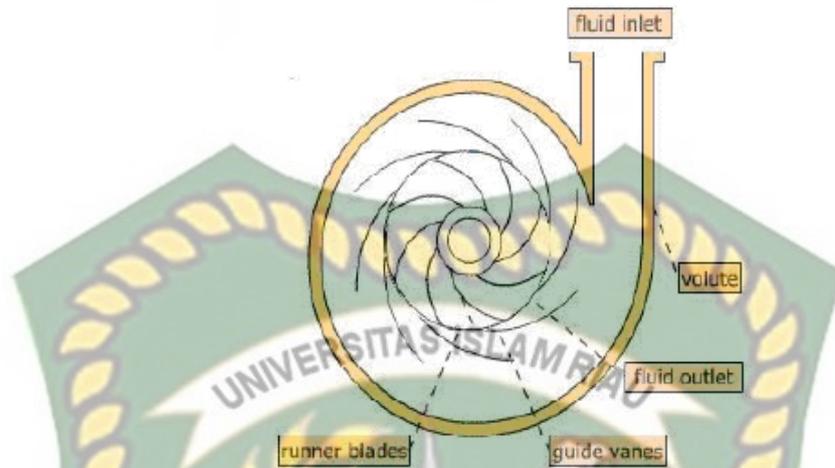
2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi ialah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang ada menjadi energi puntir dalam bentuk putaran. Sudu yang terdapat

pada turbin reaksi memiliki profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melewati sudu. Pada turbin reaksi, energi yang terdapat pada saluran masuk hanya sebagian saja yang diubah menjadi energi kinetik sementara itu sisanya tetap dalam bentuk energi tekan. Ketika air mengalir melewati roda gerak (*runner*) terjadinya perubahan energi tekan menjadi energi kinetik secara berangsur-angsur. Tekanan yang terdapat pada sisi masuk roda gerak lebih tinggi dari pada tekanan sisi keluar roda gerak turbin, dimana tekanan tersebut bervariasi terhadap laju aliran fluida yang melewati turbin. Lalu agar perubahan tekanan ini dapat terjadi, maka roda atau *runner* harus tertutup dari udara luar dan seluruhnya terisi air selama turbin beroperasi. Beberapa contoh dari turbin reaksi yaitu : turbin *francis*, turbin kaplan, dan turbin *vortex* menurut (Kasbi,2014).

A. Turbin *Francis*

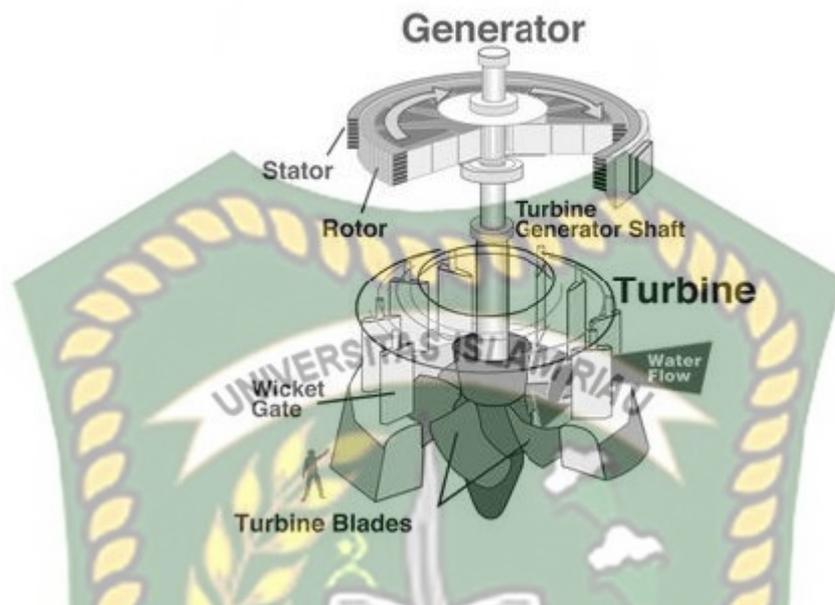
Turbin *francis* ialah mesin penggerak salah satu dari turbin reaksi. Dimana pada energi fluida kerja digunakan langsung untuk memutar roda jalan, selanjutnya poros turbin dihubungkan dengan poros yang ada pada generator sehingga dapat menghasilkan suatu arus listrik. Turbin dipasang disekitaran sumber air bertekanan tinggi di bagian masuk lalu pada air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *francis* menggunakan sudu pengarah untuk mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin *francis* bisa menjadi suatu sudu pengarah yang tetap maupun sudu pengarah yang bisa diatur sudutnya. Untuk penggunaan sudu pada berbagai kondisi aliran air pemilihan yang disarankan ialah penggunaan sudu pengarah yang bisa diatur (Kusuma, 2011).



Gambar 2.4 Turbin *francis* (Prasetiyo, 2018)

B. Turbin kaplan

Turbin kaplan termasuk salah satu jenis turbin cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi sama dengan turbin *francis*. Turbin ini tersusun dari *propeller* atau sudu-sudu memiliki roda yang mirip seperti baling-baling kapal. Roda pada turbin kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya putar atau tangensial pada poros turbin yang mampu menghasilkan torsi. Berbeda dengan roda jalan yang terdapat pada turbin *francis*, sudu-sudu roda jalan yang digunakan turbin kaplan bisa diputar posisinya menyesuaikan kondisi beban pada turbin. Turbin kaplan banyak digunakan pada instalasi (PLTA) pembangkit listrik tenaga air, karena turbin ini memiliki keunggulan bisa menyesuaikan *head* yang kapan saja berubah-ubah. Turbin Kaplan mampu beroperasi dengan kecepatan tinggi maka ukuran roda turbin ini lebih kecil sehingga dapat dikopel langsung dengan generator. karena kondisi beban yang tidak penuh turbin kaplan memiliki efisiensi paling tinggi, hal ini disebabkan karena sudu-sudu turbin bisa diatur menyesuaikan dengan beban yang diterima (Gunarko, 2018).



Gambar 2.5 Turbin kaplan (Kasbi, 2014)

2.4 Turbin *Vortex*

Turbin *vortex* pertama kali ditemukan oleh Frans Zotleterer yang berkebangsaan Austria, turbin ini dinamai dengan *gravitation water vortex power plant (GWVPP)* tetapi nama yang dikenal secara luas yaitu turbin *vortex* atau turbin pusaran air. Turbin *vortex* adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang menggunakan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin tersebut, dimana pada energi pusaran air dikonversikan menjadi energi putaran pada poros. Turbin ini mempunyai *head* yang relatif rendah 0,7 m – 3 m dengan debit 50 L/s. Aliran *Vortex* atau aliran pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam sebuah saluran yang mengalami perubahan secara mendadak. Fenomena yang terjadi pada aliran *vortex* banyak dijumpai pada permodelan seperti sayap pada pesawat, aliran *vortex* dianggap sebagai sebuah kerugian dalam suatu aliran fluida. Tetapi pada penelitian yang dilakukan oleh Victor Schaubberger, pemanfaatan saluran irigasi kemudian diubah menjadi aliran *vortex* (pusaran) dan digunakan untuk menggerakkan sudu turbin. Dari penelitian tersebut efisiensi yang didapatkan sebesar 75% dengan tinggi jatuh air 0,6 m. Pada prosesnya air dialirkan melewati saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan

seterusnya di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang yang berupa seperti lingkaran kecil. Akibat saluran buang tersebut maka aliran air yang mengalir akan membentuk sebuah pusaran air (Adiwibowo, 2018).



Gambar 2.6 Turbin *vortex* (Kasbi, 2014)

Dalam Dinamika Fluida, *vortex* adalah sebuah daerah yang ada didalam fluida dimana aliran sebagian besar bergerak memutar pada terhadap sumbu yang imajiner. Pola gerakan disebut juga aliran *vortex*. *Vortex* terbentuk dari fluida termasuk cairan, gas, dan plasma. *Vortex* adalah salah satu komponen utama dalam aliran turbulen. Dengan tidak adanya gaya luar, gesekan pada viskos dalam cairan cenderung membuat aliran menjadi kumpulan yang disebut juga vortisitas irrotasional. Dalam pusaran tersebut, kecepatan fluida terbesar berada di samping sumbu imajiner, dan penurunan kecepatan berbanding terbalik terhadap jarak dari sumbu imajiner. Pusaran sangat tinggi di wilayah inti sekitar sumbu, dan hampir nol di ujung pusaran, sementara tekanan turun tajam saat mendekati wilayah itu. Setelah terbentuk, *vortex* dapat berpindah, meregang, berputar, dan berinteraksi secara kompleks. Sebuah *vortex* bergerak membawa serta momentum sudut dan linier, energi, dan massa di dalamnya. Dalam pusaran stasioner, maka *streamlines* dan *pathlines* tertutup. Dalam pusaran bergerak atau berkembang, *streamline* dan *pathlines* biasanya bergerak secara spiral (Girsang, 2014).



Gambar 2.7 Aliran *Vortex* (Girsang, 2014)

Penelitian pada turbin *vortex* yang menggunakan pompa sebagai pengumpan, pada mikrohidro prinsip kerja pompa dibalik menjadi mesin tenaga yang mengkonversikan energi potensial fluida menjadi energi kinetis. Pada instalasinya, penggunaan pompa sebagai penyalur air pada turbin lebih praktis, murah, mudah didapatkan dipasaran dan mudah dalam perawatan. Kelebihan aplikasi pompa sebagai pengumpan turbin air adalah pompa mudah diperoleh dengan variasi *head* dan *flow*, tersedia dalam berbagai ukuran (Hazwi, 2014).

Penelitian yang dilakukan dengan melihat besarnya tenaga air yang tersedia dari sebuah sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Banyaknya sungai dan irigasi yang ada merupakan modal awal untuk pengembangan energi air ini. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik (Imran, 2018).

2.4.1 Klasifikasi *Vortex*

Secara umum, fenomena *vortex* terbagi atas dua bahagian yaitu :

1. *Vortex* Paksa / *Vortex* Berotasi

Vortex berotasi adalah *vortex* yang terbentuk karena adanya suatu gaya luar yang berpengaruh pada fluida.

2. *Vortex* Bebas / *Vortex* Tak Berotasi

Vortex bebas adalah *vortex* yang terjadi karena fenomena natural, tidak terpengaruh dari gaya luar sistem fluida. Pada aliran inkompresibel, umumnya terjadi karena adanya lubang keluar.

2.4.2 Keunggulan Pada Turbin *Vortex*

1. Sangat baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar tetapi hanya memiliki *head* yang rendah.
2. Tidak memerlukan suatu sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin yang lainnya.
3. Tekanan air yang dihasilkan tidak merusak ekologi, dalam hal ini dampak yang terjadi terhadap kehidupan air (ikan) dan mikroorganisme lainnya tetap terjaga.
4. Tidak membutuhkan *draft tube* pada turbin *vortex*, sehingga dapat mengurangi pengeluaran pada penggalian pemasangan *draft tube*.
5. Memiliki efisiensi yang cukup tinggi, dengan variasi debit yang tinggi dan sangat cocok untuk debit air yang kecil.
6. Tidak memerlukan jaring-jaring halus pada turbin sebagai pencegah masuknya puing-puing turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

2.4.3 Cara Kerja Turbin *Vortex*

Sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTA) pusaran air adalah sebuah teknologi yang memanfaatkan energi yang terkandung pada pusaran air cukup besar dengan diciptakan melalui perbedaan *head* rendah di irigari atau sungai (Didik, 2018). Cara kerja turbin *vortex*.

1. Air sungai disalurkan ketangki sirkulasi. Pada dasarnya tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran.

2. Tekanan rendah yang ada pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi dapat mempengaruhi kekuatan aliran *vortex*.
3. Energi potensial yang ada seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi diinti *vortex* yang selanjutnya akan diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Kemudian air yang disalurkan ketangki kembali ke sungai melalui saluran keluar.

2.5 Komponen – Komponen Pada Turbin Air

Komponen-komponen penting yang terdapat pada turbin adalah sebagai berikut : (Sitompul, 2011)

1. Rotor

Rotor ialah bagian yang berputar pada sistem, terdiri dari poros dan sudu - sudu gerak yang terpasang disekeliling rotor.

a. Poros

Poros berfungsi sebagai penerus aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh *impeller*. Poros berbentuk silinder panjang yang *solid* (pejal) atau berongga (*hollow*), yang biasa digunakan poros dari silinder panjang solid.

b. Sudu gerak

Sudu gerak ialah sudu-sudu yang dipasang mengelilingi rotor berbentuk suatu piringan.

c. Bantalan

Bantalan merupakan bagian yang penting pada turbin, alat ini berfungsi sebagai penyangga rotor sehingga membuat rotor memiliki kestabil atau lurus pada posisinya didalam *casing* dan rotor juga dapat berputar secara halus, aman dan bebas. Bantalan penyangga turbin harus cukup kokoh supaya memungkinkan

poros bekerja dengan baik, adanya bantalan bermanfaat untuk menjaga rotor turbin tetap pada posisinya agar tidak menimbulkan kerugian mekanik karena gesekan.

2. Stator

Stator ialah bagian yang diam pada sistem, yang terdiri dari *casing* dan sudu diam atau tetap (*fixed blade*).

a. Casing

Casing atau rumah turbin adalah suatu wadah berbentuk seperti sebuah tabung dimana rotor ditempatkan dan berfungsi sebagai tempat kedudukan komponen – komponen pada turbin.

b. Sudu tetap

Sudu merupakan suatu bagian dari turbin yang dimana konversi energi terjadi. Sudu terdiri dari bagian akar sudu, badan sudu dan ujung sudu. Lalu sudu dirangkai sedemikian sehingga membentuk satu lingkaran penuh.

2.6 Perbandingan Karakteristik Turbin Air

Kecepatan spesifik dari turbin air juga dapat disebut sebagai kecepatan ideal. Persamaan geometris turbin, yang dihasilkan dari satu satuan daya tiap satuan *head*. Kecepatan spesifik turbin diberikan oleh suatu perusahaan dengan peralatan lainnya dan selalu dapat diartikan sebagai titik efisiensi maksimum. Perhitungan yang didapat menghasilkan performa turbin dalam jangkauan *head* dan debit tertentu.

Kecepatan spesifik (n_s), menunjukkan dari bentuk turbin tersebut dan tidak berhubungan dengan ukuran turbinnya. Hal itu menyebabkan desain turbin baru yang diubah skalanya dari desain yang sudah ada dengan performa yang sudah diketahui. Kecepatan spesifik merupakan satu kriteria utama yang menunjukkan pemilihan jenis turbin yang tepat berdasarkan karakteristik sumber air.

2.7 Klasifikasi Turbin

Klasifikasi turbin kebanyakan pemilihannya didasarkan pada *head* air yang dihasilkan dan pada rata-rata alirannya. Pada umumnya, turbin *impuls* biasanya digunakan untuk tempat yang *head* nya tinggi, dan turbin reaksi digunakan pada tempat dengan yang *head* rendah.

2.7.1 Klasifikasi Berdasarkan Ketinggian Jatuh Air

Pemakaian jenis turbin dibedakan atas ketinggian jatuh air, dimana untuk ketinggian jatuh air tertentu maka berbeda jenis turbin yang digunakan. Pada tabel berikut dapat dilihat jenis turbin yang digunakan menurut tinggi jatuh airnya.

Tabel 2.1 Klasifikasi turbin air berdasarkan tinggi jatuh air

Ketinggian Jatuh Air (m)	Jenis Turbin
Tinggi tekan sangat rendah (< 2 m)	Turbin <i>vortex</i>
Tinggi tekan rendah (< 15)	Turbin baling-baling atau kaplan
Tinggi tekan menengah (16 – 70)	Turbin kaplan atau francis
Tinggi tekan tinggi (71 – 500)	Turbin francis atau pelton
Tinggi tekan sangat tinggi (> 500)	Turbin pelton

(Kasbi, 2014)

2.8 Pengaruh Diameter *impeller* Pada Turbin *Vortex*

Menurut (Siregar,2018) dalam skala laboratorium yang bertema tentang mengetahui pengaruh diameter *impeller* terhadap daya, dan efisiensi, dan memvariasikan diameter sudu 15,5 cm, 18,5 cm, dan 21 cm, dengan jumlah *blade* 6 buah. Langkah-langkah penelitian ini meliputi perancangan, pembuatan, dan pengujian. Dari pengujian ini dihasilkan daya listrik maksimum 6,435 Watt dengan efisiensi generator maksimum 64,323 %.

Pada penelitian uji eksperimental pembangkit listrik mikrohidro menggunakan turbin *vortex* dengan *casing* berpenampang lingkaran yang menggunakan *impeller* berdiameter 56 cm, tinggi 90 cm, 3 variasi jarak antara *impeller* dan saluran keluar berdiameter 7,5 cm. Dikatakan bahwa tingkat efisiensi maksimum didapatkan 53,48061 % (Gultom, 2014)

Penelitian tentang pengujian eksperimental efisiensi turbin reaksi aliran *vortex inlet involut* dengan variasi diameter *impeller* tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi maksimum yang dihasilkan dari variasi diameter *impeller*. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Variabel bebas yang digunakan adalah diameter *impeller* yaitu 21 cm, 24 cm, dan 27 cm dengan menggunakan debit air sebesar 10,147 L/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya dan efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin dengan diameter *impeller* 27 cm dan pembebanan 6000 gram dengan nilai masing-masing adalah 24,28 Watt dan 38,10 %. Dari hasil penelitian ini, lebar diameter *impeller* mempengaruhi daya dan efisiensi (Handoyo, 2019).

2.9 Pengaruh Tinggi Jatuh Air Pada Turbin *Vortex*

Pengujian ini menggunakan variasi tinggi jatuh air kepala (H) 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Aliran air penyempitan sudut 20°, 40°, dan 60°. Pengujian menggunakan *blade* NACA 9516, jumlah *blade* 4 buah, panjang *blade* 10 cm dan tinggi 30 cm, dengan variasi tinggi jatuh air dan sudut penyempitan aliran air yang mempengaruhi hasil putaran daya poros dan efisiensi daya turbin.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan hasil tertinggi pada ketinggian jatuh air 50 cm dengan sudut penyempitan aliran 20° dengan hasil putaran poros 350,38 Rpm, daya turbin sebesar, 6 Watt, dan nilai efisiensi turbin sebesar 46,64 % (Ardiyanto, 2019).

Dari pengujian performa pengaruh variasi diameter *impeller*, tinggi jatuh air masuk lubang buang terhadap prestasi turbin *vortex* dengan spesifikasi tinggi 40 cm dan lebar 50 cm menggunakan 6 buah *blade*. Dapat disimpulkan putaran paling maksimum adalah 248,138 rpm pada ketinggian jatuh air 16 cm, ketinggian jatuh air 20 cm, dan daya listrik yang dihasilkan generator paling optimal adalah 9,56 W pada ketinggian jatuh air 20 cm (Siregar, 2018).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Assahab, 2020) semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi yang dapat dimanfaatkan. Sedangkan untuk aliran yang tidak memiliki tinggi jatuh atau aliran dengan jatuh air yang rendah belum dimanfaatkan dengan maksimal. Hal ini menjadikan aliran dengan jatuh air yang rendah dapat dimanfaatkan sama dengan aliran yang mempunyai jatuh air yang lebih tinggi dengan mengubah menjadi aliran *vortex*.

Analisis dilakukan pada penelitian pengaruh tinggi jatuh air terhadap daya pembangkit listrik mikrohidro turbin *vortex*. Untuk mengetahui pengaruh tinggi jatuh air (*head*) terhadap daya pembangkit listrik turbin *vortex* mikrohidro, maka terlihat *head actual* dan debit air sangat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan. Semakin tinggi jatuh air yang masuk kedalam turbin *vortex* maka semakin besar daya yang dihasilkan. Pada tinggi jatuh air 4,4 m menghasilkan debit air $0,000777 \text{ m}^3/\text{s}$, daya turbin 27,499 W dan mikrohidro 24,749 W (Suriyanto, 2017).

2.10 Persamaan-Persamaan Pendukung Dalam Analisa Turbin *Vortex*

Dalam menganalisa peforma turbin *vortex* diperlukan rumus untuk menghitung data yang telah didapatkan. Berikut rumus-rumus yang akan digunakan agar memudahkan dalam menghitung dan menganalisa data pada penelitian ini adalah :

1. Pengukuran Debit (Q)

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung pengukuran debit pada turbin *Vortex* adalah sebagai berikut :

$$Q = v \times A \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

Dimana,

$$v = \frac{s}{t} \text{ dan } A = l \times h$$

Keterangan :

- Q = Debit ($\frac{m^3}{s}$)
- v = Kecepatan Aliran ($\frac{m}{s}$)
- A = Area (m^2)

2. Daya Hidrolik (P_{hid})

Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung daya hidrolik pada turbin *vortex* adalah sebagai berikut :

$$P_{hid} = Q \times \rho \times g \times h_v \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

Keterangan :

- P_{hid} = Daya Hidrolik (W)
- Q = Debit Aliran ($\frac{m^3}{s}$)
- ρ = Massa Jenis Air ($\frac{Kg}{m^3}$)
- g = Gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)
- h_v = Tinggi *Vortex* (m)

3. Torsi (τ)

Rumus yang digunakan untuk menghitung torsi pada turbin *vortex* adalah sebagai berikut :

$$\tau = F_{\text{tot}} \times r \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

$$F_{\text{tot}} = F_i + F_p + F_{sc} + F_{al} + F_{bp}$$

$$\text{Dimana, } F_i = F_p = F_i = F_p = F_{sc} = F_{al} = F_{bp} = m \cdot g$$

Keterangan :

- τ = Torsi (Nm)
- F_{tot} = Gaya Total (N)
- r = Panjang Poros (m)
- g = gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)
- F_i = Gaya Pada *Impeller* (N)
- F_p = Gaya Pada Pipa (N)
- F_{sc} = Gaya Pada *Socket* (N)
- F_{al} = Gaya Pada Aluminium (N)
- F_{bp} = Gaya Pada Besi Poros (N)

4. Kecepatan Angular/Sudut (ω)

Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan angular pada turbin *vortex* adalah sebagai berikut :

$$\omega = 2 \times \pi \times \frac{n}{60} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.4)}$$

Keterangan :

- ω = Kecepatan Angular (rad/s)
- n = Putaran (Rpm)

5. Daya Mekanik Turbin (P_{Mekanik})

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung daya mekanik turbin pada turbin *vortex* adalah sebagai berikut :

$$P_{\text{mek}} = \omega \times \tau \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.5)}$$

Keterangan :

P_{mek} = Daya Mekanik (hp)

ω = Kecepatan Angular/Sudut (rad/s)

τ = Torsi (Nm)

6. Effisiensi (η)

Rumus yang digunakan untuk menghitung effisiensi pada turbin *vortex* adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{hid}} \times 100 \% \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.6)}$$

Keterangan :

η = Effisiensi (%)

P_{mek} = Daya Mekanik (W)

P_{hid} = Daya Hidrolik (W)

7. Daya Dinamo (P_{Dinamo})

Rumus yang digunakan untuk menghitung daya dinamo (P_{Dinamo}) pada turbin *vortex* adalah sebagai berikut :

$$P_{Dinamo} = V \times I \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.7)}$$

Keterangan :

P_{Dinamo} = Daya Dinamo (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang dijadikan pedoman untuk melakukan penelitian. Langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian akan diperlihatkan pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian harus dilakukan teknik penyusunan sistematis untuk memudahkan langkah-langkah yang akan diambil. Begitu pula yang dilakukan penulis dalam penelitian ini, langkah pertama yaitu dengan melakukan studi literatur pada buku-buku yang membahas tentang turbin *vortex*, jurnal, dan penelitian yang telah dilakukan. Data yang didapat dari studi literatur ini akan digunakan sebagai acuan untuk membuat tahapan-tahapan penelitian.

3.3 Tempat Penelitian

Adapun tempat dilakukannya penelitian ini adalah didaerah Desa Perawang Barat. Tepatnya pada irigasi kolam ikan yang digunakan dalam mengambil data turbin *vortex* tersebut. Pelaksanaan pengambilan pengujian ini dilakukan dalam beberapa hari dikarenakan cuaca juga berpengaruh pada pengambilan data. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Tempat penelitian

3.4 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

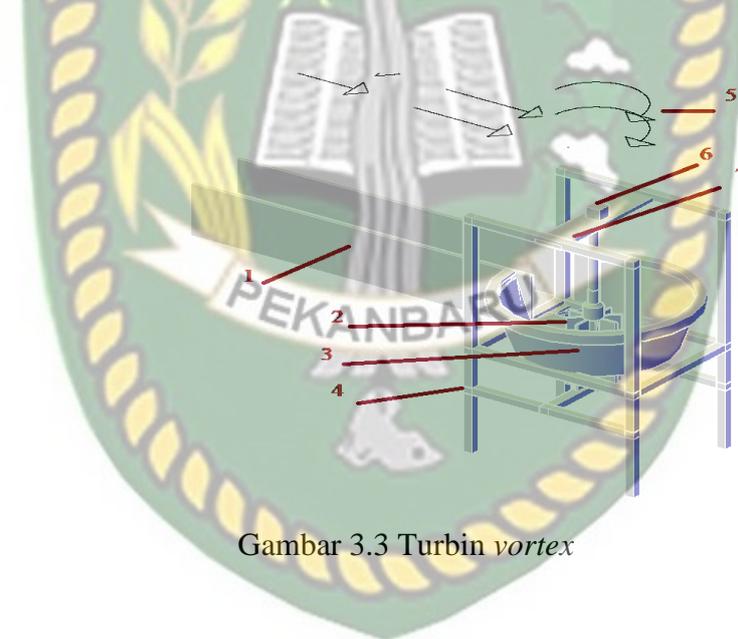
Dalam proses penelitian ini akan dilakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan, agar memudahkan dalam melakukan proses pengambilan data. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.4.1 Alat Yang Digunakan

Alat yang akan digunakan pada penelitian turbin *vortex* ini dapat dibagi menjadi tiga yaitu alat penelitian, alat yang digunakan untuk melakukan pengambilan data turbin *vortex* dan alat pendukung agar dapat melakukan pergantian *impeller* pada turbin *vortex* yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini ada pada gambar dibawah.



Gambar 3.3 Turbin *vortex*

Keterangan gambar :

- 1) Talang air
- 2) *Impeller*
- 3) Ember (Basin)
- 4) Kerangka turbin *vortex*
- 5) Ilustrasi aliran air
- 6) Dinamo
- 7) Kayu penyanggah dinamo

2. Alat Untuk Mendapatkan Data

Alat yang digunakan agar memudahkan dalam pengambilan data dan dapat menentukan kinerja yang dihasilkan turbin votex. Alat-alat yang digunakan yaitu adalah *hand tachometer*, *handphone*, penggaris atau mistar dan juga multimeter. Adapun penjelasan dan spesifikasi alat-alat tersebut terdapat pada point dibawah ini.

1). *Hand Tachometer*

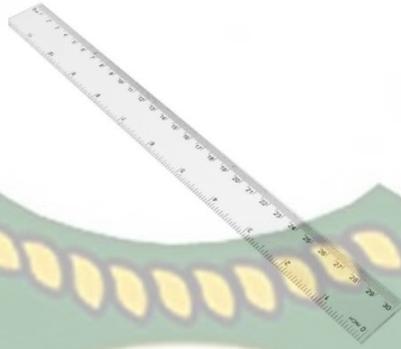
Hand tachometer adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengukur putaran mesin, khususnya pada jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satuan waktu. Adapun tachometer yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah tachometer digital dengan spesifikasi 0,1 rpm-5~999,9 rpm, 1 rpm-1,000 rpm~99,999 rpm.



Gambar 3.4 *Tachometer*

2). Penggaris / Mistar

Penggaris atau disebut juga sebagai mistar digunakan sebagai alat untuk mengetahui ukuran panjang suatu benda. Pada penelitian kali ini dapat digunakan untuk menentukan tinggi *vortex* yang dihasilkan *impeller* dalam satuan meter (m). Adapun mistar yang digunakan adalah mistar dengan panjang 30 cm.



Gambar 3.5 Penggaris

3). Multitester

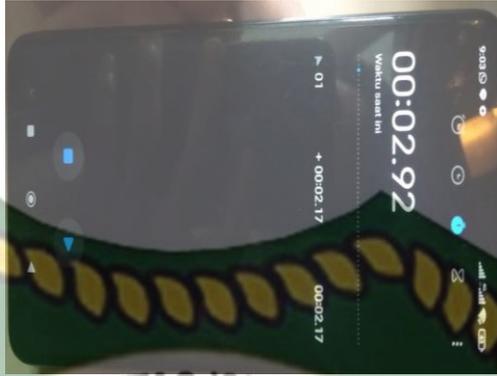
Multitester adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dalam satuan Volt (V) dan juga arus yang dihasilkan dalam satuan Ampere (A) oleh turbin *vortex*. Spesifikasi dari multimeter ini sendiri antara lain 400 mA dan 600 V.



Gambar 3.6 Multitester

4). *Handphone*

Fitur pada *handphone* dibagian *stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu pada pengambilan data debit. Adapun spesifikasi dari *handphone* tersebut adalah vivo y91c ram 2 internal 16 Gb.



Gambar 3.7 Handphone

5). Talang Air

Untuk mengatur ketinggian jatuh air yang masuk ke *impeller* turbin. Karena pengambilan data turbin *vortex* ini dilakukan variasi tinggi jatuh air untuk menentukan performa turbin *vortex*. Adapun spesifikasinya adalah lebar 4 inci dengan panjang 50 cm.



Gambar 3.8 Talang air

6). Alat Pendukung

Alat pendukung adalah alat yang digunakan untuk mendukung penelitian pada turbin *vortex*. Adapun alat pendukung yang dimaksud adalah kunci pas dan *ring*. Kunci pas dan *ring* akan digunakan untuk mengganti *impeller* pada turbin *vortex*. Kunci pas dan *ring* merupakan sebuah alat yang digunakan agar mur dapat berputar dari bautnya. Terdapat dua ujung yang berbeda pada kunci pas dan *ring* yaitu *ring* atau *end* (bulat) dan pas atau *open* (U) memiliki ukuran yang sama. Kunci ini dibuat dari baja yang dilapisi krom supaya tidak mudah aus.



Gambar 3.9 Kunci pas dan *ring*

3.4.2. Bahan

Turbin *vortex* yang baik adalah turbin *vortex* yang dapat menghasilkan kinerja yang sangat baik, untuk dapat mencapai kinerja yang sangat baik, maka diperlukan bahan yang dapat menunjang turbin *vortex* itu sendiri. Bahan yang dimaksud adalah *impeller*. Kinerja turbin *vortex* yang baik ditentukan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja pada turbin *vortex* yaitu maksimal atau tidaknya kerja yang dihasilkan oleh *impeller*. Semakin maksimal kerja *impeller* maka semakin baik kinerja turbin *vortex*.

Subjek utama dalam penelitian ini terletak pada *impeller*, dimana *impeller* akan divariasikan dan juga tinggi jatuh airnya. *Impeller* berfungsi sebagai komponen turbin *vortex* yang menghasilkan energi mekanik dengan cara berputar akibat adanya pengaruh air yang mengalir melalui *impeller*. Energi mekanik inilah yang nantinya akan dikonversikan menjadi energi listrik.

Adapun *impeller* yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Bentuk *impeller* yang digunakan

3.5 Metode Pengambilan Data

Adapun metode pengambilan data pada turbin *vortex*, maka tahap-tahap pengambilan data akan dilakukan sebagai berikut :

1. Menentukan tekanan dan kecepatan air menggunakan alat sederhana yaitu gabus dan *stopwatch*.
2. Meletakkan turbin *vortex* yang telah dirancang ditempat yang telah diperkirakan.
3. Mulai membendung air menggunakan karung pasir serta mengarahkannya kedalam talang air, agar air dapat masuk kedalam bak dan memutar *impeller*.
4. Pastikan terlebih dahulu tidak ada masalah yang terjadi pada turbin *vortex* agar data yang diambil memiliki tingkat keakuratan yang tinggi.
5. Memasang *impeller* dengan diameter 16 cm dengan jumlah *blade* 4 buah pada turbin *vortex*.
6. Mengatur ketinggian jatuh air yang telah ditentukan pada ketinggian 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm.
7. Melakukan *monitoring* apakah turbin bekerja dengan baik dengan cara membiarkan turbin bekerja beberapa saat sebelum mengambil data.
8. Melakukan pengambilan data putaran *impeller* turbin menggunakan *tachometer* dan tinggi *vortex* yang terjadi menggunakan mistar.
9. Melakukan pengambilan data tegangan dalam satuan Volt (v) dan daya dalam satuan Ampere (A) menggunakan multimeter.
10. Setelah data diambil, maka lanjutkan dengan memasang *impeller* lainnya dan mengatur tinggi jatuh air pada saluran masuk turbin. Dimana urutan yang dimaksud adalah sebagai berikut :
 - a. *Impeller* diameter 16 cm dengan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm.
 - b. *Impeller* diameter 18 cm dengan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm.
 - c. *Impeller* diameter 20 cm dengan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm.
11. Selesai.

3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan, maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan ke					
		1	2	3	4	5	6
1.	Pembuatan Proposal						
2.	Studi Literatur						
3.	Persiapan Alat dan Bahan						
4.	Seminar Proposal						
5.	Pembuatan, Pengujian dan Pengumpulan Data						
6.	Analisa Data						
7.	Seminar dan Sidang Hasil						

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa variabel terhadap diameter *impeller* dan tinggi jatuh air turbin *vortex*. Untuk mempermudah mengolah data hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperlukan data-data penunjang. Adapun data penunjang tersebut adalah sebagai berikut :

4.1.1 Debit Air Masuk *Impeller* (Q)

Pengukuran debit air diperlukan untuk menghitung data selanjutnya yaitu perhitungan pada daya hidrolik, karena setiap perbedaan debit air dengan tinggi jatuh air yang telah divariasikan akan berpengaruh pada daya hidrolik yang dihasilkan. Dalam pengukuran debit air tersebut data yang telah didapat ada pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data debit air masuk *impeller* (Q)

No	Besaran	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jarak	S	4	m
2	Waktu	T ₁	22,6	s
		T ₂	21,05	
		T ₃	20,7	
		T ₄	19,05	
		T ₅	18	
3	Lebar kanal	L	0,86	m
4	Kedalaman kanal	H	0,56	m

Dapat dilihat pada tabel 4.1 diatas data yang telah ditentukan adalah jarak 4 m, lebar kanal 0,86 m dan kedalaman kanal 0,56 m disemua tinggi jatuh air dari 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, dan 20 cm. Pada ketinggian jatuh air 4 cm aliran air mengalir dalam waktu 22,6 detik, pengujian kedua pada ketinggian jatuh air 8 cm

aliran air mengalir dalam waktu 21,05 detik, yang ketiga di ketinggian jatuh air 12 cm mendapat waktu 20,7 detik, pada pengujian keempat tinggi jatuh air 16 cm aliran air mengalir dalam waktu 19,05 detik, dan pengujian tinggi air 20 cm mendapatkan waktu aliran air 18 detik.

Dari data diatas dapat dilihat bahwa waktu tercepat yang didapat pada ketinggian jatuh air 20 cm dengan waktu 18 detik. Sedangkan waktu terlama terdapat pada ketinggian jatuh air 4 cm dengan waktu 22,6 detik.

4.1.2 Putaran (n)

Data putaran berkaitan dengan pengujian turbin *vortex* untuk mengolah perhitungan pada kecepatan angular dan mengetahui daya mekanik pada turbin *vortex*, maka dilakukan pengambilan data putaran pada poros *impeller* turbin *vortex* menggunakan *hand tachometer*. Adapun data putaran yang didapat setelah melakukan pengujian *impeller* pada diameter 16 cm ada pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data hasil putaran *impeller* diameter 16 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Putaran (Rpm)
1	4	282,2
2	8	345,8
3	12	368,7
4	16	420,3
5	20	466,9

Dapat dilihat pada tabel 4.2 data hasil pengujian *impeller* diameter 16 cm yang tinggi jatuh airnya telah divariasikan dan dilakukan pengambilan data putaran menggunakan *hand tachometer*. Kecepatan putaran yang dihasilkan pada tinggi jatuh air 4 cm adalah 282,2 Rpm, pengujian *impeller* diameter 16 cm ditinggi jatuh air 8 cm putaran yang dihasilkan 345,8 cm, selanjutnya diketinggian jatuh air 12 cm mendapatkan kecepatan putaran 368,7 Rpm, Pengujian yang keempat tinggi jatuh air 16 cm menghasilkan putaran 420,3 Rpm, dan yang

terakhir pada ketinggian jatuh air 20 cm mendapatkan kecepatan putaran 466,9 Rpm.

Berdasarkan dari data tabel 4.2 yang telah diperoleh pada pengujian *impeller* diameter 16 cm. Kecepatan putaran tertinggi yang didapat ada ditinggi jatuh air 20 cm dengan kecepatan putaran 466,9 Rpm, sedangkan kecepatan putaran terendah ada pada ketinggian jatuh air 4 cm dengan kecepatan putaran 282,2 Rpm.

Data hasil dan pembahasan pengujian *impeller* diameter 18 cm ada pada tabel dibawah, yang menunjukkan data putaran yang didapat pada saat ketinggian jatuh air yang berbeda.

Tabel 4.3 Data hasil putaran *impeller* diameter 18 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Putaran (Rpm)
1	4	198,4
2	8	222,76
3	12	241,47
4	16	310,8
5	20	360,7

Dapat dilihat pada tabel 4.3 data hasil pengujian *impeller* diameter *impeller* 18 cm yang tinggi jatuh airnya telah divariasikan dan dilakukan pengambilan data putaran menggunakan *hand tachometer*. Kecepatan putaran yang dihasilkan pada tinggi jatuh air 4 cm adalah 198,4 Rpm, pengujian *impeller* diameter 16 cm ditinggi jatuh air 8 cm putaran yang dihasilkan 222,76 cm, selanjutnya diketinggian jatuh air 12 cm mendapatkan kecepatan putaran 241,47 Rpm, Pengujian yang keempat tinggi jatuh air 16 cm menghasilkan putaran 310,8 Rpm, dan yang terakhir pada ketinggian jatuh air 20 cm mendapatkan kecepatan putaran 360,7 Rpm.

Berdasarkan dari data tabel 4.3 yang telah diperoleh pada pengujian *impeller* diameter 18 cm. Kecepatan putaran tertinggi yang didapat ada ditinggi

jatuh air 20 cm dengan kecepatan putaran 360,7 Rpm, sedangkan kecepatan putaran terendah ada pada ketinggian jatuh air 4 cm dengan kecepatan putaran 198,4 Rpm.

Data hasil dan pembahasan pengujian *impeller* diameter 20 cm ada pada tabel dibawah, yang menunjukkan data putaran yang didapat pada saat ketinggian jatuh air yang berbeda.

Tabel 4.4 Data hasil putaran *impeller* diameter 20 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Putaran (Rpm)
1	4	106,7
2	8	154,8
3	12	229,1
4	16	281,6
5	20	297,8

Dapat dilihat pada tabel 4.4 data hasil pengujian *impeller* diameter *impeller* 20 cm yang tinggi jatuh airnya telah divariasikan dan dilakukan pengambilan data putaran menggunakan *hand tachometer*. Kecepatan putaran yang dihasilkan pada tinggi jatuh air 4 cm adalah 106,7 Rpm, pengujian *impeller* diameter 16 cm ditinggi jatuh air 8 cm putaran yang dihasilkan 154,8 cm, selanjutnya diketinggian jatuh air 12 cm mendapatkan kecepatan putaran 229,1 Rpm, Pengujian yang keempat tinggi jatuh air 16 cm menghasilkan putaran 281,6 Rpm, dan yang terakhir pada ketinggian jatuh air 20 cm mendapatkan kecepatan putaran 297,8 Rpm.

Berdasarkan dari data tabel 4.4 yang telah diperoleh pada pengujian *impeller* diameter 20 cm. Kecepatan putaran tertinggi yang didapat ada ditinggi jatuh air 20 cm dengan kecepatan putaran 297,8 Rpm, sedangkan kecepatan putaran terendah ada pada ketinggian jatuh air 4 cm dengan kecepatan putaran 106,7 Rpm.

4.1.3 Tinggi vortex (H_v)

Pada penelitian ini salah satu bagian penting yang harus didapatkan merupakan tinggi *vortex*. Tujuan dari mendapatkan tinggi *vortex* ialah untuk menghitung daya hidrolik yang akan digunakan dalam menganalisa efisiensi pada pengujian turbin *vortex*. Adapun data tinggi *vortex* dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Tinggi *vortex* (H_v) pada *impeller* diameter 16 cm

No`	Tinggi Jatuh Air (cm)	Tinggi <i>Vortex</i> (m)
1	4	0,025
2	8	0,026
3	12	0,027
4	16	0,028
5	20	0,029

Dapat dilihat pada tabel 4.5 pengujian turbin *vortex impeller* diameter 16 cm yang tinggi jatuh airnya telah divariasikan dan dilakukan pengambilan data tinggi *vortex* dengan mengukur tinggi air yang masuk pada bak turbin menggunakan penggaris. Tinggi *vortex* yang dihasilkan ketinggian jatuh air 4 cm adalah 0,025 m, pengujian selanjutnya pada tinggi jatuh air 8 cm menghasilkan tinggi *vortex* 0,026 m, pada pengujian ketiga ditinggi jatuh air 12 cm mendapatkan tinggi *vortex* 0,027 m, pengujian yang keempat tinggi jatuh air 16 cm menghasilkan tinggi *vortex* 0,028 m, dan yang terakhir tinggi jatuh air 20 cm dengan menghasilkan tinggi *vortex* 0,029 m.

Bedasarkan data tinggi *vortex* yang telah diujikan pada *impeller* diameter 16 cm. Tinggi *vortex* terbaik yang dihasilkan ada pada ketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai 0,029 m, sedangkan tinggi *vortex* terendah ada diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 0,025 m.

Data hasil pengujian tinggi *vortex impeller* diameter 18 cm dan 20 cm dengan tinggi jatuh air yang telah divariasikan ditunjukkan pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Tinggi *vortex* (H_v) pada *impeller* diameter 18 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Tinggi <i>Vortex</i> (m)
1	4	0,025
2	8	0,024
3	12	0,025
4	16	0,029
5	20	0,03

Dapat dilihat pada tabel 4.6 pengujian turbin *vortex impeller* diameter 18 cm yang tinggi jatuh airnya telah divariasikan dan dilakukan pengambilan data tinggi *vortex* dengan mengukur tinggi air yang masuk pada bak turbin menggunakan penggaris. Tinggi *vortex* yang dihasilkan pada ketinggian jatuh air 4 cm adalah 0,025 m, pengujian selanjutnya tinggi jatuh air 8 cm menghasilkan tinggi *vortex* 0,024 m, pada pengujian ketiga ditinggi jatuh air 12 cm mendapatkan tinggi *vortex* 0,025 m, pengujian yang keempat tinggi jatuh air 16 cm menghasilkan tinggi *vortex* 0,029 m, dan yang terakhir tinggi jatuh air 20 cm dengan menghasilkan tinggi *vortex* 0,03 m.

Bedasarkan data tinggi *vortex* yang telah diujikan pada *impeller* diameter 20 cm. Tinggi *vortex* terbaik yang dihasilkan ada pada ketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai 0,03 m, sedangkan tinggi *vortex* terendah ada diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 0,024 m.

Tabel 4.7 Tinggi *vortex* (H_v) pada *impeller* diameter 20 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Tinggi <i>Vortex</i> (m)
1	4	0,024
2	8	0,027
3	12	0,029
4	16	0,03
5	20	0,31

Dapat dilihat pada tabel 4.7 pengujian turbin *vortex impeller* diameter 20 cm yang tinggi jatuh airnya telah divariasikan dan dilakukan pengambilan data tinggi *vortex* dengan mengukur tinggi air yang masuk pada bak turbin menggunakan penggaris. Tinggi *vortex* yang dihasilkan pada ketinggian jatuh air 4 cm adalah 0,024 m, pengujian selanjutnya tinggi jatuh air 8 cm menghasilkan tinggi *vortex* 0,027 m, pada pengujian ketiga ditinggi jatuh air 12 cm mendapatkan tinggi *vortex* 0,029 m, pengujian yang keempat tinggi jatuh air 16 cm menghasilkan tinggi *vortex* 0,03 m, dan yang terakhir tinggi jatuh air 20 cm dengan menghasilkan tinggi *vortex* 0,031 m.

Bedasarkan data tinggi *vortex* yang telah diujikan pada *impeller* diameter 20 cm. Tinggi *vortex* terbaik yang dihasilkan ada pada ketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai 0,031 m, sedangkan tinggi *vortex* terendah ada diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 0,024 m.

4.1.4 Torsi (τ)

Dalam melakukan penelitian ini salah satu data penting yang dicari adalah perhitungan torsi. Karena untuk menghitung daya mekanik akan digunakan data torsi dan data putaran yang telah didapat. Data torsi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Massa dan panjang poros

No	Data	Simbol	Nilai	Satuan
1	<i>Impeller</i> diameter (16 cm)	i_1	0,31	Kg
2	<i>Impeller</i> diameter (18 cm)	i_2	0,35	Kg
3	<i>Impeller</i> diameter (20 cm)	i_3	0,38	Kg
4	Pipa	P	0,02	Kg
5	<i>Socket</i>	S_c	0,1	Kg
6	Panjang poros	R	0,08	M
7	Aluminium	A_l	0,01	Kg
8	Besi poros	B_p	0,04	Kg

Dapat dilihat pada tabel 4.8 pengukuran massa dan panjang poros pada bagian yang berhubungan dengan perhitungan torsi. Massa pada *impeller* diameter 16 cm adalah 0,31 kg, massa *impeller* 18 cm 0,35 kg, massa *impeller* 20 cm 0,38 kg, massa pada pipa adalah 0,02 kg, massa *socket* 0,1 kg, massa aluminium 0,01 kg, massa besi poros 0,04 kg dan panjang poros adalah 0,08 m. Data yang didapat nantinya akan berpengaruh pada daya mekanik yang dihasilkan disetiap *impeller* tersebut.

4.1.5 Tegangan listrik (V) dan Arus Listrik DC (A)

Pada data tegangan listrik dan arus listrik DC yang dihasilkan *impeller* diameter 16 cm, *impeller* diameter 18 cm dan *impeller* diameter 20 cm, pengambilan data tersebut dilakukan dengan menggunakan multimeter yang diukur melalui dinamo yang dipasangkan pada turbin untuk mengetahui daya dinamo. Adapun data tegangan listrik dan arus listrik DC yang telah dihasilkan diameter *impeller* 16 cm dengan tinggi jatuh air yang berbeda terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.9 Tegangan listrik (V) dan arus listrik DC (A)
pada *impeller* diameter 16 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Tegangan (V)	Arus Listrik (A)
1	4	17,83	0,340
2	8	18,69	0,344
3	12	19,54	0,350
4	16	20,09	0,355
5	20	20,99	0,369

Dapat dilihat pada tabel 4.9 data hasil tegangan listrik dan arus listrik DC yang didapat dari pengujian turbin *vortex* pada *impeller* diameter 16 cm. Pada tinggi jatuh air 4 cm tegangan yang didapat 17,83 V dan arus listriknya 0,340 A, pengujian kedua tinggi jatuh air 8 cm tegangan yang dihasilkan 18,69 V dan arus

listrik 0,344 A, lalu pengujian keempat tinggi jatuh air 12 cm tegangan yang dihasilkan 19,54 V dan arus listrik 0,350 A, selanjutnya pada tinggi jatuh air 16 cm tegangan yang dihasilkan adalah 20,09 V dan arus listrik 0,355 A, dan yang terakhir diketinggian jatuh air 20 cm tegangan yang didapat 20,99 V dan arus listriknya 0,369 A.

Berdasarkan data diatas nilai terbaik pada *impeller* diameter 16 cm yang dihasilkan ada pada ketinggian air 20 cm dengan tegangan 20,99 V dan arus listrik 0,369 A. Sedangkan, data terendah dari pengujian ini ada diketinggian jatuh air 4 cm dengan tegangan 17,83 dan arus listrik 0,340 A.

Data hasil pengujian daya dinamo pada *impeller* diameter 18 cm dengan tinggi jatuh air yang telah divariasikan, ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.10 Tegangan listrik (V) dan arus listrik DC (A) pada *impeller* diameter 18 cm

No	Tinggi Jatuh Air (cm)	Tegangan (V)	Arus Listrik (A)
1	4	16,59	0,320
2	8	16,72	0,321
3	12	16,75	0,328
4	16	16,81	0,330
5	20	17,75	0,336

Dapat dilihat pada tabel 4.10 data hasil tegangan listrik dan arus listrik DC yang didapat dari pengujian turbin *vortex* pada *impeller* diameter 18 cm. Pada tinggi jatuh air 4 cm tegangan yang didapat 16,59 V dan arus listriknya 0,320 A, pengujian kedua tinggi jatuh air 8 cm tegangan yang dihasilkan 16,72 V dan arus listrik 0,321 A, lalu pengujian keempat tinggi jatuh air 12 cm tegangan yang dihasilkan 16,75 V dan arus listrik 0,328 A, selanjutnya pada tinggi jatuh air 16 cm tegangan yang dihasilkan adalah 16,81 V dan arus listrik 0,330 A, dan yang terakhir diketinggian jatuh air 20 cm tegangan yang didapat 17,75 V dan arus listriknya 0,336 A.

Berdasarkan data diatas nilai terbaik pada *impeller* diameter 18 cm yang dihasilkan ada pada ketinggian air 20 cm dengan tegangan 17,75 V dan arus listrik 0,336 A. Sedangkan, data terendah dari pengujian ini ada diketinggian jatuh air 4 cm dengan tegangan 16,59 V dan arus listrik 0,320 A.

Data hasil pengujian daya dinamo pada *impeller* diameter 20 cm dengan tinggi jatuh air yang telah divariasikan, ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.11 Tegangan listrik (V) dan arus listrik DC (A) pada *impeller* diameter 20 cm

No	Tinggi jatuh air (cm)	Tegangan (V)	Arus Listrik (A)
1	4	15,71	0,304
2	8	15,79	0,308
3	12	15,83	0,317
4	16	16,01	0,318
5	20	16,43	0,319

Dapat dilihat pada tabel 4.11 data hasil tegangan listrik dan arus listrik DC yang didapat dari pengujian turbin *vortex* pada *impeller* diameter 20 cm. Pada tinggi jatuh air 4 cm tegangan yang didapat 15,71 V dan arus listriknya 0,304 A, pengujian kedua tinggi jatuh air 8 cm tegangan yang dihasilkan 15,79 V dan arus listrik 0,308 A, lalu pengujian keempat tinggi jatuh air 12 cm tegangan yang dihasilkan 15,83 V dan arus listrik 0,317 A, selanjutnya pada tinggi jatuh air 16 cm tegangan yang dihasilkan adalah 16,01 V dan arus listrik 0,318 A, dan yang terakhir diketinggian jatuh air 20 cm tegangan yang didapat 16,43 V dan arus listriknya 0,319 A.

Berdasarkan data diatas nilai terbaik pada *impeller* diameter 20 cm yang dihasilkan ada pada ketinggian air 20 cm dengan tegangan 16,43 V dan arus listrik 0,319 A. Sedangkan, data terendah dari pengujian ini ada diketinggian jatuh air 4 cm dengan tegangan 15,71 V dan arus listrik 0,304 A.

4.2 Hasil Dan Pembahasan Pada Setiap Variasi Diameter *Impeller* Dan Tinggi Jatuh Air Turbin *Vortex*

Hasil dan pembahasan berfungsi untuk melihat performa turbin *vortex* dari masing-masing diameter *impeller* dan tinggi jatuh air yang dihasilkan pada penelitian ini. Untuk menghitung debit air masuk yang pada *impeller* turbin *vortex*, menghitung daya hidrolis pada turbin, torsi, kecepatan angular, daya hidrolis, mengetahui efisiensi terbaik dan juga daya dinamo yang didapatkan dari pengukuran multimeter. Digunakan beberapa rumus yang telah dijelaskan pada bab 2 untuk memudahkan dalam melakukan perhitungan yang ada pada penelitian ini. Adapun perhitungan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

4.2.1 Perhitungan *Impeller* Diameter 16 cm Pada Tinggi Jatuh Air 4 cm

a. Debit Air Masuk *Impeller* Tinggi Jatuh Air 4 cm (Q)

Untuk menghitung debit, menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Q = v \times A$$

Dimana,

$$v = \frac{s}{t} \text{ dan } A = l \times h$$

Keterangan :

$$Q = \text{Debit } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$v = \text{Kecepatan Aliran } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$A = \text{Area } (\text{m}^2)$$

Diketahui :

- $s = 4 \text{ m}$
- $t = 22,6 \text{ s}$
- $l = 0,86 \text{ m}$
- $h = 0,56 \text{ m}$

Dengan diketahui data perhitungan debit diatas, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$v = \frac{4 \text{ m}}{22,6 \text{ s}} = 0,177 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A = 0,86 \text{ m} \times 0,56 \text{ m} = 0,4816 \text{ m}^2$$

Maka,

$$Q = v \times A$$

$$Q = 0,177 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,4816 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,085 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

b. Daya Hidrolik (P_{hid})

Daya hidrolik pada *impeller* diameter 16 cm dengan tinggi jatuh air 4 cm, dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$P_{hid} = Q \times \rho \times g \times h_v$$

Keterangan :

$$P_{hid} = \text{Daya Hidrolik (W)}$$

$$Q = \text{Debit Aliran } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

$$\rho = \text{Massa Jenis Air } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$g = \text{Gravitasi } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$h_v = \text{Tinggi Vortex (m)}$$

Diketahui :

- $Q = 0,085 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- $\rho = 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- $h_v = 0,025 \text{ m}$

Dengan diketahui data daya hidrolik diatas, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{hid} = 0,085 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,025 \text{ m}$$

$$P_{hid} = 0,085 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,025 \text{ m}$$

$$P_{hid} = 20,482 \frac{\text{Kg m}^2}{\text{s}^3} = 20,482 \text{ W}$$

c. Torsi (τ)

Torsi pada *impeller* diameter 16 cm, dapat dihitung dengan data yang telah didapatkan dari pengukuran massa yang berpengaruh pada putaran turbin. Data yang dimaksud antara lain adalah :

- $i_{16} = 0,31 \text{ kg}$
- $p = 0,02 \text{ kg}$
- $s_c = 0,1 \text{ kg}$
- $a_l = 0,01 \text{ kg}$
- $b_p = 0,04 \text{ kg}$

1. Gaya Pada *Impeller* 16 cm (F_{i16})

Gaya pada *impeller* 16 cm (F_{i16}) yang telah diperoleh, dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$F_{i16} = m \times g$$

$$F_{i16} = 0,31 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{i16} = 3,041 \text{ N}$$

2. Gaya Total (F_{tot})

Gaya Total (F_{tot}) pada *impeller* 16 cm, dapat dihitung dengan data gaya yang telah dikonversikan sebelumnya. Seperti data yang dibawah ini :

- $F_{i16} = 3,041 \text{ N}$
- $F_p = 0,1962 \text{ N}$
- $F_{s_c} = 0,981 \text{ N}$
- $F_{a_l} = 0,0981 \text{ N}$
- $F_{b_p} = 0,3924 \text{ N}$
- $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- $r = 0,08 \text{ m}$

Dengan data yang telah didapatkan diatas, maka dapat dihitung gaya total (F_{tot}) dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_{tot} = F_{i16} + F_p + F_{sc} + F_{al} + F_{bp}$$

$$F_{tot} = 3,041 \text{ N} + 0,1962 \text{ N} + 0,981 \text{ N} + 0,0981 \text{ N} + 0,3924 \text{ N}$$

$$F_{tot} = 4,7087 \text{ N}$$

3. Torsi (τ)

$$\tau = F_{tot} \times r$$

$$\tau = 4,7087 \text{ N} \times 0,08 \text{ m}$$

$$\tau = 0,377 \text{ Nm}$$

Keterangan :

$$\tau = \text{Torsi (Nm)}$$

$$F_{tot} = \text{Gaya Total (N)}$$

$$r = \text{Panjang Poros (m)}$$

d. Kecepatan Angular / Sudut (ω)

Kecepatan Angular / Sudut (ω) pada *impeller* diameter 16 cm dengan ketinggian jatuh air 4 cm, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

$$\omega = \text{Kecepatan Angular (rad/s)}$$

$$n = \text{Putaran (Rpm)}$$

Diketahui :

- $n = 282,2 \text{ Rpm}$

Maka,

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

$$\omega = 2 \times \pi \times \frac{282,2 \text{ Rpm}}{60}$$

$$\omega = 29,537 \text{ rad/s}$$

e. Daya Mekanik Turbin (P_{mek})

Daya mekanik (P_{mek}) pada *impeller* 16 cm, dapat dihitung menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$P_{mek} = \omega \times \tau$$

Keterangan :

$$P_{mek} = \text{Daya Mekanik (hp)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan Angular/Sudut (rad/s)}$$

$$\tau = \text{Torsi (Nm)}$$

Dimana,

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

$$\tau = F_{tot} \times r$$

Diketahui :

- $\omega = 2 \times \pi \times \frac{282,2 \text{ Rpm}}{60} = 29,537 \text{ rad/s}$
- $\tau = 0,377 \text{ Nm}$

Maka,

$$P_{mek} = \omega \times \tau$$

$$P_{mek} = 29,537 \text{ rad/s} \times 0,377 \text{ Nm}$$

$$P_{mek} = 11,127 \text{ W}$$

$$P_{mek} = \frac{11,127 \text{ W}}{746 \text{ W}} = 0,0149 \text{ hp}$$

f. Effisiensi (η)

Effisiensi turbin *vortex* (η) pada *impeller* diameter 16 cm dengan ketinggian jatuh air 4 cm, dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{hid}} \times 100 \%$$

Keterangan :

$$\eta = \text{Effisiensi (\%)}$$

$$P_{mek} = \text{Daya Mekanik (W)}$$

$$P_{hid} = \text{Daya Hidrolik (W)}$$

Diketahui :

- $P_{mek} = 11,127 \text{ W}$
- $P_{hid} = 20,482 \text{ W}$

Maka,

$$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{hid}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{11,127 \text{ W}}{20,482 \text{ W}} \times 100 \%$$

$$\eta = 53,386 \%$$

g. Daya Dinamo (P_{Dinamo})

Daya dinamo (P_{Dinamo}) pada *impeller* diameter 16 cm dengan tinggi jatuh air 4 cm, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{Dinamo} = V \times I$$

Keterangan :

$$P_{Dinamo} = \text{Daya Dinamo (W)}$$

$$V = \text{Tegangan (V)}$$

$$I = \text{Arus (A)}$$

Diketahui :

- $V = 17,83 \text{ V}$
- $I = 0,340 \text{ A}$

Maka,

$$P_{Dinamo} = V \times I$$

$$P_{Dinamo} = 17,83 \text{ V} \times 0,340 \text{ A}$$

$$P_{Dinamo} = 6,062 \text{ W}$$

Pada perhitungan *impeller* diameter 16 cm dengan ketinggian jatuh air 4 cm diatas telah menunjukan rincian data yang telah diolah pada penelitian ini. Dimana semua data yang didapat berhubungan dengan data perhitungan lainnya. Pada perhitungan selanjutnya akan dibuat dalam bentuk tabel agar lebih

memudahkan dalam menganalisa hasil dan pembahasan data tersebut. Dapat dilihat pada tabel dibawah yang telah divariabelkan menurut variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air turbin *vortex*.

Pada tabel 4.12 dibawah ini merupakan data hasil pengujian pada *impeller* turbin *vortex* dengan diameter 16 cm, dan tabel dibawah ini menunjukkan hasil tertinggi dan terendah dalam peforma turbin *vortex* yang divariasikan dalam beberapa tinggi jatuh air dalam pengujian ini.

Tabel 4.12 Data hasil pengujian pada *impeller* diameter 16 cm

Tinggi Jatuh Air (cm)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan Angular (rad/s)	P _{hidrolik} (W)	P _{mekanik} (hp)	P _{dinamo} (W)	Effisiensi (%)
4	0,085	29,537	20,842	0,0149	6,062	53,386
8	0,092	36,194	23,272	0,0183	6,429	58,587
12	0,093	38,591	24,576	0,0195	6,839	59,153
16	0,101	43,991	27,693	0,0222	7,131	59,840
20	0,107	48,869	30,355	0,0247	7,795	60,645

Pada tabel 4.12 diatas dapat dilihat data hasil pengujian pada *impeller* diameter 16 cm dari ketinggian jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, sampai 20 cm. Debit aliran air paling tinggi terdapat pada tinggi jatuh air 20 cm dengan nilai yaitu 0,107 m³/s. Itu mempengaruhi kecepatan angular yang didapat mencapai 48,869 rad/s. Dengan debit yang tinggi meningkatkan daya hidrolik mencapai 30,355 W dan daya mekanik dengan nilai 0,0247 hp dengan nilai torsi 0,377 Nm. Dari daya mekanik dan daya hidrolik yang dihasilkan tinggi jatuh air 20 cm mendapatkan effisiensi terbaik sebesar 60,645 %. Daya dinamo terbaik yang dihasilkan melalui pengukuran dinamo dengan multimeter didapat 7,795 W.

Dari hasil analisa dan pembahasan diameter *impeller* 16 cm dengan tinggi jatuh air air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, sampai 20 cm. Dapat dilihat bahwa disetiap pengujian tersebut memiliki perbedaan nilai yang dihasilkan dalam setiap perhitungannya, karena itu akan mempengaruhi peforma turbin *vortex*. Dan dapat

dibandingkan hasil yang terbaik atau mencapai efisiensi maksimum diantara semua *impeller* yang telah diujikan pada penelitian ini.

Pada tabel 4.13 dibawah ini merupakan data hasil pengujian pada *impeller* turbin *vortex* dengan diameter 18 cm, dan tabel dibawah ini menunjukkan hasil tertinggi dan terendah dalam peforma turbin *vortex* yang divariasikan dalam beberapa tinggi jatuh air dalam pengujian ini.

Tabel 4.13 Data hasil pengujian pada *impeller* diameter 18 cm

Tinggi Jatuh Air (cm)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan Angular (rad/s)	P _{hidrolik} (W)	P _{mekanik} (hp)	P _{dinamo} (W)	Effisiensi (%)
4	0,085	20,766	20,842	0,0114	5,325	40,660
8	0,092	23,316	21,482	0,0128	5,367	44,293
12	0,093	25,274	22,755	0,0138	5,484	45,327
16	0,101	32,528	28,682	0,0178	5,547	46,282
20	0,107	37,756	31,402	0,0207	5,967	49,067

Pada tabel diatas dapat dilihat data hasil analisa pada diameter 18 cm dari ketinggian jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, sampai 20 cm. Debit aliran air paling tinggi terdapat pada tinggi jatuh air 20 cm dengan nilai yaitu 0,107 m³/s. Itu mempengaruhi kecepatan angular yang didapat mencapai 37,756 rad/s. Dengan debit yang tinggi meningkatkan daya hidrolik mencapai 31,402 W, daya mekanik dengan nilai 0,0207 hp dengan nilai torsi 0,432 Nm. Dari daya mekanik dan daya hidrolik yang dihasilkan tinggi jatuh air 20 cm mendapatkan efisiensi terbaik sebesar 49,067 %. Daya dinamo terbaik yang dihasilkan melalui pengukuran dinamo dengan multitester didapat 5,967 W.

Dari hasil analisa dan pembahasan diameter *impeller* 18 cm dengan tinggi jatuh air air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, sampai 20 cm. Dapat dilihat bahwa disetiap pengujian tersebut memiliki perbedaan nilai yang dihasilkan dalam setiap perhitungannya, karena itu akan mempenaruhi peforma turbin *vortex*. Dan dapat dibandingkan hasil yang terbaik atau mencapai efisiensi maksimum diantara semua *impeller* yang telah diujikan pada penelitian ini.

Pada tabel 4.14 dibawah ini merupakan data hasil pengujian pada *impeller* turbin *vortex* dengan diameter 20 cm, dan tabel dibawah ini menunjukkan hasil tertinggi dan terendah dalam peforma turbin *vortex* yang divariasikan dalam beberapa tinggi jatuh air dalam pengujian ini.

Tabel 4.14 Data hasil pengujian pada *impeller* diameter 20 cm

Tinggi Jatuh Air (cm)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan Angular (rad/s)	P _{hidrolik} (W)	P _{mekanik} (hp)	P _{dinamo} (W)	Effisiensi (%)
4	0,085	11,168	20,008	0,0065	4,775	24,092
8	0,092	16,202	24,167	0,0094	4,863	28,939
12	0,093	23,979	26,396	0,0139	5,018	39,212
16	0,101	29,474	29,671	0,0171	5,091	42,877
20	0,107	31,170	32,449	0,0187	5,241	43,003

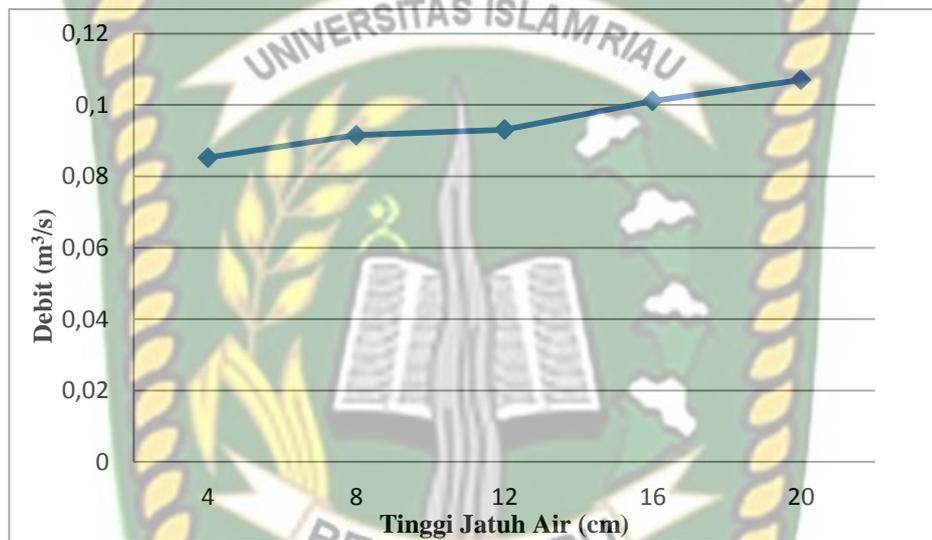
Pada tabel diatas dapat dilihat data hasil analisa pada diameter 20 cm dari ketinggian jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, sampai 20 cm. Debit aliran air paling tinggi terdapat pada tinggi jatuh air 20 cm dengan nilai yaitu 0,107 m³/s. Itu mempengaruhi kecepatan angular yang didapat mencapai 31,170 rad/s. Dengan debit yang tinggi meningkatkan daya hidrolik mencapai 32,449 W, daya mekanik mencapai 0,0187 nm dengan nilai torsi 0,408 Nm. Dari daya mekanik dan daya hidrolik yang dihasilkan tinggi jatuh air 16 cm mendapatkan efisiensi terbaik sebesar 43,003 %. Daya dinamo terbaik yang dihasilkan melalui pengukuran dinamo dengan multimeter didapat 5,241 W.

Dari hasil analisa dan pembahasan diameter *impeller* 20 cm dengan tinggi jatuh air air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, sampai 20 cm. Dapat dilihat bahwa disetiap pengujian tersebut memiliki perbedaan nilai yang dihasilkan dalam setiap perhitungannya, karena itu akan mempengaruhi peforma turbin *vortex*. Dan dapat dibandingkan hasil yang terbaik atau mencapai efisiensi maksimum diantara semua *impeller* yang telah diujikan pada penelitian ini.

4.3 Grafik Dan Analisa Hasil Pembahasan Pada Setiap Variasi Diameter *Impeller* Dan Tinggi Jatuh Air Turbin *Vortex*

Langkah – langkah berikutnya setelah dilakukan perhitungan atau pengolahan data dari setiap variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air turbin *vortex* ialah pembuatan grafik yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

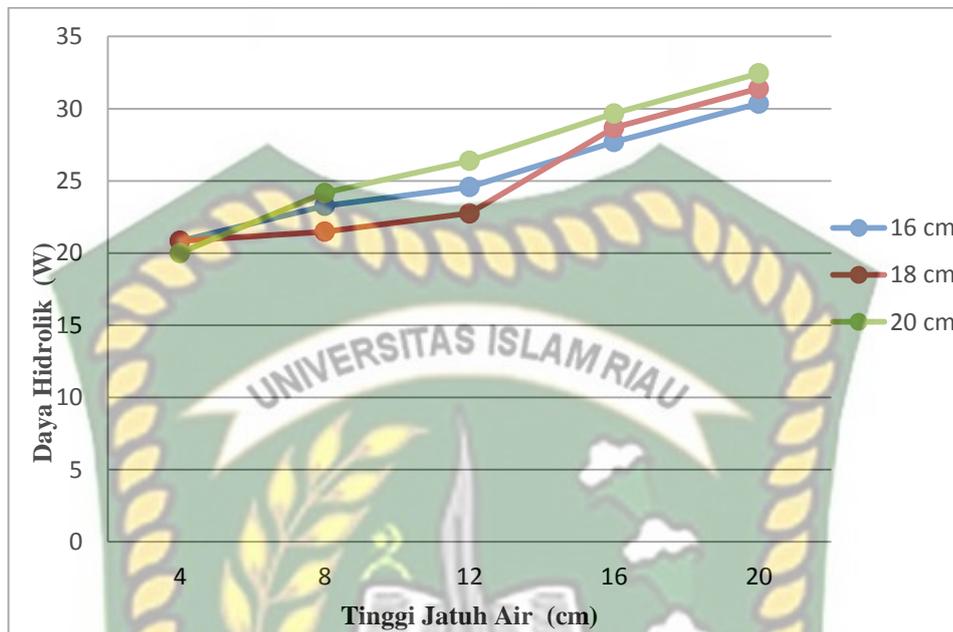
1. Grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) terhadap debit (m^3/s)



Gambar 4.1 Grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) terhadap debit (m^3/s)

Berdasarkan gambar 4.1 grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) yang telah divariasikan terhadap debit (m^3/s). Bahwa debit yang dihasilkan meningkat pada setiap ketinggian jatuh air yang telah divariasikan dengan tinggi jatuh airnya adalah 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm. Hal itu terjadi karena kemiringan talang air masuk semakin tinggi dan waktu yang dihasilkan juga berbeda, sehingga semakin tinggi jatuh air waktu yang didapat semakin cepat dan hal itu mempengaruhi debit yang dihasilkan. Debit terbaik yang dihasilkan terdapat pada tinggi jatuh air 20 cm dengan waktu 18 detik dan debit sebesar $0,107 m^3/s$. Sedangkan debit terendah yang dihasilkan terdapat pada tinggi jatuh air 16 cm dengan waktu 22,6 detik dan debit sebesar $0,085 m^3/s$.

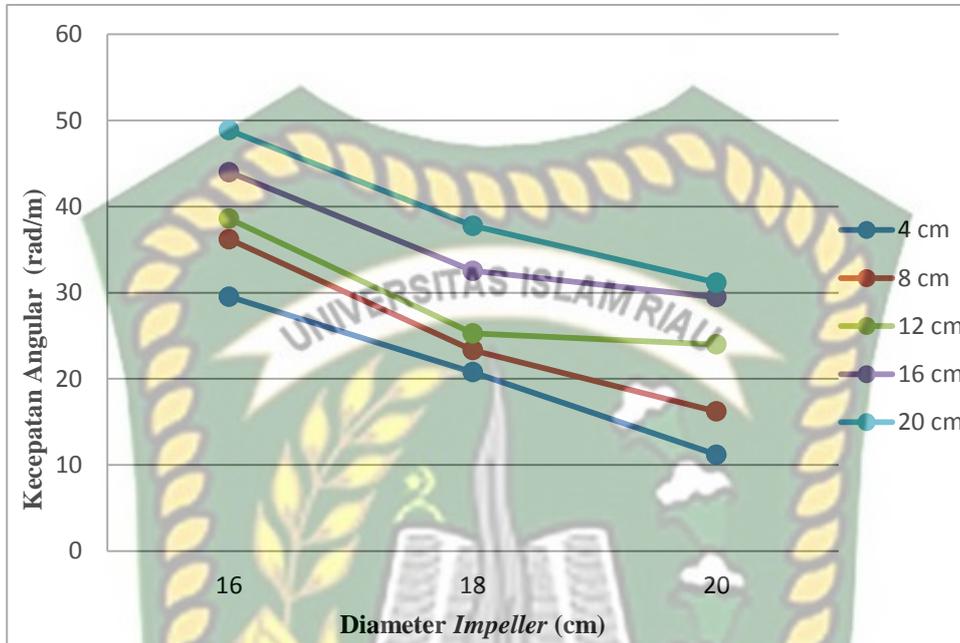
2. Grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) terhadap daya hidrolik (W)



Gambar 4.2 Grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) terhadap daya hidrolik (W)

Berdasarkan gambar 4.2 grafik hubungan tinggi jatuh air (cm) yang telah divariasikan terhadap daya hidrolik (W). Bahwa daya hidrolik yang dihasilkan *impeller* diameter 20 cm dengan tinggi jatuh air 20 cm lebih besar dibandingkan pada tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm. . Hal itu terjadi karena tinggi *vortex* dan debit yang sangat tinggi. Daya hidrolik terbaik yang dihasilkan pada tinggi jatuh air 20 cm mencapai 32,449 W dengan debit tertinggi 0,107 m³/s dan mempunyai nilai tinggi *vortex* sebesar 0,31 m. Sedangkan daya hidrolik terendah dalam grafik hubungan tinggi jatuh air terhadap daya hidrolik adalah tinggi jatuh air 20 cm juga dengan nilai 20,008 W pada debit 0,085 m³/s. Dalam perhitungan daya hidrolik data dari tinggi *vortex* dan debit pada ketinggian jatuh air sangat berpengaruh terhadap daya hidrolik yang dihasilkan.

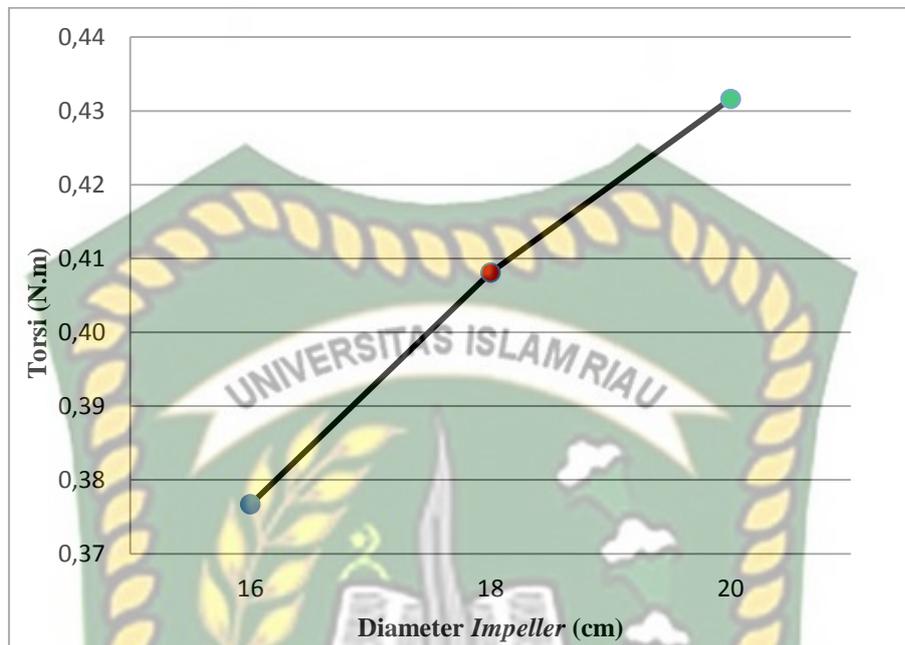
3. Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap kecepatan angular (rad/s)



Gambar 4.3 Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap kecepatan angular (rad/s)

Berdasarkan gambar 4.3 grafik diatas menunjukkan nilai dari masing–masing kecepatan angular pada *impeller* diameter 16 cm, *impeller* diameter 18 cm dan *impeller* diameter 20 cm dan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm,16 cm, 20 cm pada pengujian turbin *vortex*. Dalam penelitian ini massa pada *impeller* juga berpengaruh pada kecepatan putaran yang dihasilkan. Dari grafik tersebut kecepatan angular tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah kecepatan angular pada *impeller* diameter 16 cm diketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai mencapai 48,869 rad/s pada debit tertinggi 0,107 m³/s. Sedangkan kecepatan angular terendah dalam grafik hubungan diameter *impeller* terhadap kecepatan angular adalah *impeller* diameter 20 cm diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 11,168 rad/s pada debit 0,085 m³/s.

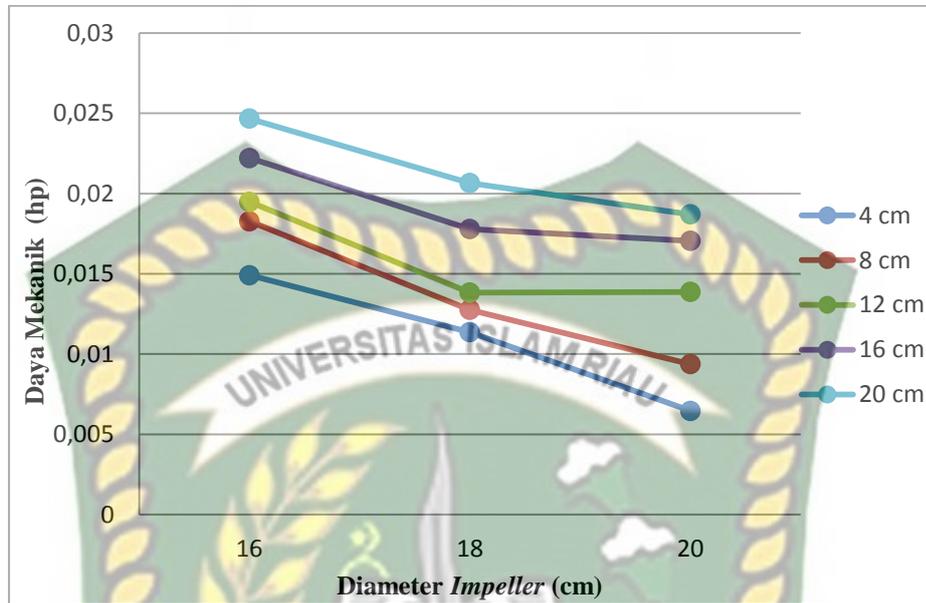
4. Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap torsi (Nm)



Gambar 4.4 Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap torsi (Nm)

Berdasarkan gambar 4.4 grafik hubungan diameter *impeller* (cm) yang divariasikan terhadap torsi (Nm) yang dihasilkan. Terlihat pada grafik tersebut torsi yang dihasilkan meningkat dikarenakan massa pada *impeller* 16 cm, *impeller* 18 cm, *impeller* 20 cm berbeda. Pada penelitian ini torsi terbaik yang dihasilkan hubungan diameter *impeller* terhadap torsi terdapat pada diameter *impeller* 16 cm dengan torsi 0,377 Nm. Sedangkan torsi terbesar yang dihasilkan hubungan diameter *impeller* terhadap torsi adalah *impeller* 20 cm dengan nilai torsi 0,432 Nm.

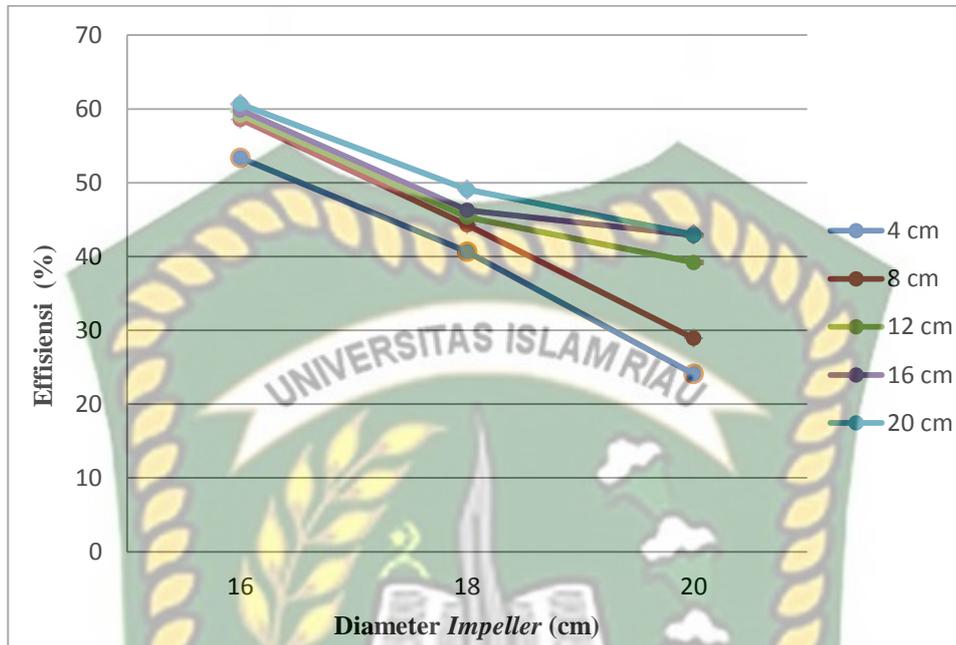
5. Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap daya mekanik (hp)



Gambar 4.5 Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap daya mekanik (hp)

Berdasarkan gambar 4.5 grafik diatas menunjukkan nilai dari masing-masing daya mekanik pada *impeller* diameter 16 cm, *impeller* diameter 18 cm, *impeller* diameter 20 cm dan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm pengujian turbin *vortex*. Dalam pengujian ini kecepatan angular yang dihasilkan *impeller* dan torsi *impeller* sangat berpengaruh dengan daya mekanik. Dari grafik dapat dilihat daya mekanik tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah daya mekanik pada *impeller* diameter 16 cm diketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai mencapai 0,0247 hp pada kecepatan angular tertinggi 48,869 rad/s dan torsi 0,377 Nm. Sedangkan daya mekanik terendah dalam grafik hubungan diameter *impeller* terhadap daya mekanik adalah *impeller* diameter 20 cm diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 0,0065 hp pada kecepatan angular sudut 11,168 rad/s dan torsi 0.432 Nm.

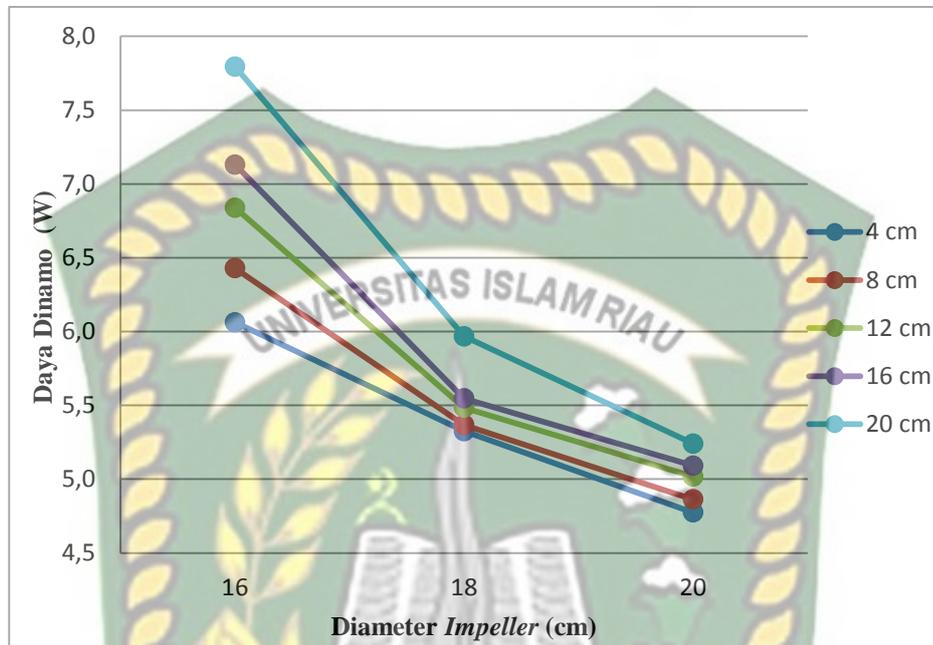
6. Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap efisiensi (%)



Gambar 4.6 Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap efisiensi (%)

Gambar 4.6 grafik diatas menunjukkan nilai dari masing–masing efisiensi yang dihasilkan pada diameter *impeller* 16 cm, 18 cm, 20 cm dan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm. Berdasarkan grafik tersebut pada *impeller* turbin vortex dan tinggi jatuh air yang telah diujikan bahwa daya hidrolik dan daya mekanik berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan. Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa efisiensi tertinggi pada variasi diameter *impeller* terdapat pada *impeller* 16 cm diketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai 60,645 % pada daya hidrolik 30,355 W dan daya mekanik sebesar 0,0247 hp. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada diameter *impeller* 20 cm diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 24,092 % dengan daya hidrolik 20,008 W dan daya mekanik sebesar 0,0065 hp.

7. Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap daya dinamo (W)



Gambar 4.7 Grafik hubungan diameter *impeller* (cm) terhadap daya dinamo (W)

Berdasarkan gambar 4.7 grafik diatas menunjukkan nilai dari masing-masing daya dinamo pada *impeller* diameter 16 cm, *impeller* diameter 18 cm dan *impeller* diameter 20 cm dan tinggi jatuh air 4 cm, 8 cm, 12 cm, 16 cm, 20 cm dalam pengujian turbin *vortex*. Terlihat pada grafik tersebut setiap daya dinamo *impeller* dipengaruhi oleh tegangan dan arus yang dihasilkan variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air. Faktor-faktor yang mempengaruhinya debit maka semakin tinggi pula kecepatan *impeller* dan daya dinamo yang dihasilkan. Dalam penelitian ini massa pada *impeller* juga berpengaruh pada kecepatan putaran yang dihasilkan. Dari grafik tersebut daya dinamo tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah daya dinamo pada *impeller* diameter 16 cm diketinggian jatuh air 20 cm dengan nilai mencapai 7,795 W pada debit tertinggi 0,107 m³/s. Sedangkan daya dinamo terendah dalam grafik hubungan diameter *impeller* dan tinggi jatuh air terhadap daya dinamo adalah *impeller* diameter 20 cm diketinggian jatuh air 4 cm dengan nilai 4,774 W pada debit 0,085 m³/s.

BAB V

PENUTUP

Dari analisa hasil dan pembahasan yang dilakukan pada pengujian pengaruh variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air terhadap peforma turbin *vortex*, dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran. Adapun kesimpulan dan saran yang dapat diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian pengaruh variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air terhadap peforma turbin *vortex* yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Menurut data yang telah dianalisa dan grafik yang telah dibuat, *impeller* diameter 16 cm dengan tinggi jatuh air 20 cm menghasilkan daya mekanik (P_{mek}) dan efisiensi turbin (η_t) terbesar diantara *impeller* dan tinggi jatuh air lainnya yaitu daya mekanik (P_{mek}) sebesar 18,409 W atau 0,0247 hp dan efisiensi turbin (η_t) sebesar 60,645 %.
2. *Impeller* diameter 20 cm dengan tinggi jatuh air 4 cm menjadi *impeller* dengan daya mekanik (P_{mek}) dan efisiensi turbin (η_t) terkecil diantara *impeller* dan tinggi jatuh air lainnya. Dimana daya mekanik (P_{mek}) yang dihasilkan sebesar 4,821 W atau 0,0065 hp dan efisiensi turbin (η_t) 24,092 %.
3. Tinggi jatuh air 20 cm menghasilkan debit air masuk *impeller* (Q) terbaik diantara tinggi jatuh air yang lain. Debit air masuk *impeller* (Q) yang dihasilkan tinggi jatuh air 20 cm sebesar 0,107 m³/s.
4. Tinggi jatuh air 4 cm menghasilkan debit air masuk *impeller* (Q) terendah diantara tinggi jatuh air yang lain. Debit air masuk *impeller* (Q) yang dihasilkan tinggi jatuh air 4 cm sebesar 0,085 m³/s.
5. Dinamo yang dipasangkan pada turbin *vortex* menghasilkan daya dinamo (P_{Dinamo}) terbaik pada *impeller* 16 cm diketinggian jatuh air 20

cm diantara daya dinamo (P_{Dinamo}) *impeller* dan tinggi jatuh air lainnya, mendapatkan daya sebesar 7,795 W.

6. Torsi (τ) pada diameter *impeller* terbaik yang dihasilkan adalah diameter *impeller* 16 cm dengan nilai 0,377 Nm, sedangkan torsi terbesar terdapat pada diameter *impeller* 20 cm dengan nilai 0,432 Nm.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diambil setelah melakukan pengujian pengaruh variasi diameter *impeller* dan tinggi jatuh air ini antara lain adalah :

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya membuat tinggi jatuh air yang lebih tinggi agar menghasilkan debit air yang besar. Sehingga daya yang dihasilkan pada turbin *vortex* mendapatkan hasil yang maksimal dalam pengujian.
2. *Impeller* yang digunakan bisa dimodifikasi agar memudahkan putaran *blade impeller* supaya menghasilkan daya yang optimal dalam pengujian selanjutnya dan membandingkan bentuk *impeller* mana yang terbaik dari pengujian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Advendo Sitompul (2018), *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton*, Yogyakarta, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma
- (2) Arman Girsang (2014), *Uji Performansi Pengaruh Variasi Head Vortex Terhadap Prestasi Turbin Vortex*, Medan, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Sumatra Utara
- (3) A. Husein Siregar (2018), *Uji Performansi Pengaruh Variasi Diameter Sudu Dan Tinggi Jatuh Air Masuk Pada Turbin Vortex*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sumatra Utara
- (4) Dwi Kusuma (2011), *Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Francis Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Terhadap Perubahan Kapasitas Aliran*, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Jember
- (5) Edwin Ardiyanto (2019), *Analisa Pengaruh Penggunaan Sudu Naca 9516 Pada Turbin Air Vortex Tenaga Picohidro Terhadap Tinggi Jatuh air Dan penyempitan Aliran Air*, Malang, Skripsi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang
- (6) Gatot Suwoto, Supriyo (2018), *Pembuatan Turbin Vortex Dengan Sudu Pipa Belah Tiga Dengan Sudut Kemiringan 45°*, Semarang, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Politeknik Negeri Semarang
- (7) Gibran, Syahril Gultom (2014), *Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu dan Saluran Keluar*, Medan, Jurnal Dinamis, Vol 4, 2017, ISSN 0216-7492

- (8) Gunarko, Supriyo (2018), *Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Metro, Vol 7 No. 2
- (9) Hannas Fitroh, Priya Heru Adiwibowo, ST., MT. (2018), *Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung Dengan Variasi Sudut Kemiringan*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Vol 06 No. 1
- (10) Sena Aripasetyo (2018), *Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudu Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Vol 06 No 1, Hal 105 – 113
- (11) Irham Fadhillah Tanjung (2013), *Analisa Performa Turbin Vortex Menggunakan Perangkat dan Sudu III, Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang*, Medan, Skripsi Teknik Mesin Universitas Sumatera utara
- (12) Irwan J.Purba, Syahril Gultom, M.Sabri, Dian M.Nasution, A.Husein Siregar (2018), *Sudu dan Tinggi Jatuh Air Masuk Pada Turbin Vortex*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Vol 6 No. 3, ISSN 0216-7492
- (13) Kharril Imran (2018), *Pengujian Prototipe Turbin Vortex Dengan Variasi Kapasitas Aliran dan Beban Torsi*, Medan, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
- (14) Mulfi Halwi (2014), *Simulasi Numerik Penggunaan Pompa Sentrifugal Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Dengan Head 9,29 m dan 5,18 m Menggunakan Perangkat Lunak CFD Pada Pipa Diameter 10,16 cm*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara

- (15) Priyo Adiwibowo (2018), *Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Luas Optimum Sudu*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya
- (16) Sena Aripasetya (2018), *Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Vol 06 No 1, Hal 105-113
- (17) Wahyu Didik Prasetyo (2018), *Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya*, Yogyakarta, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia

