



TUGAS AKHIR - SF184801

**PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA VORTEX
AIR BERBASIS BASIN KERUCUT**

Arya Sula Cakra Buana
NRP 0111154000092

Dosen Pembimbing:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Iim Fatimah, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR – SF 184801

**PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN
PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA VORTEX AIR BERBASIS
BASIN KERUCUT**

Arya Sula Cakra Buana
NRP 0111154000092

Dosen Pembimbing:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Iim Fatimah, M.Si

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – SF 184801

**THE EFFECT OF TURBINE BLADE NUMBER ON
VORTEX WATER POWER PLANT BASED ON
CONE**

Arya Sula Cakra Buana
NRP 0111154000092

Dosen Pembimbing:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Iim Fatimah , M.Si

**PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTYCS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Vortex Air Berbasis Basin Kerucut

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Strata I

Departemen Fisika,
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ARYA SULA CAKRA BUANA
NRP 0111154000092

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
NIP. 19610404 199102.1.001

(.....
.....)

Dosen Pembimbing II:
Iim Fatimah, M.Si
NIP. 19870108 201504.2.002

(.....
.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA VORTEX AIR BERBASIS BASIN KERUCUT

Nama Mahasiswa : Arya Sula Cakra Buana
NRP : 0111154000092
Departemen : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data
ITS
Pembimbing I : Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Pembimbing II : Iim Fatimah, M.Si.

ABSTRAK

Telah dibuat rancang bangun pembangkit listrik tenaga vortex berbasis basin kerucut. Variasi jumlah sudu yang digunakan yaitu 6 sudu, 3 sudu, dan 2 sudu. Variasi beban berupa resistor. Resistor yang digunakan adalah 1 k Ω , 15 k Ω , 20 k Ω , dan 25 k Ω . Debit air telah diperoleh dari 4 pompa yang digunakan, Debit tetap diperoleh sebesar 176,54 L/m. Rata-rata torsi maksimum adalah (0,704 \pm 0,001) Nm dan rata-rata rpm maksimum sebesar (163,679 \pm 0,001) rpm, sedangkan rata-rata arus terbesar diperoleh pada variasi 6 sudu dan 1 K Ω sebesar (2,258 \pm 0,002) mA. Rata-rata tegangan maksimal dengan menggunakan resistor 25 K Ω dan variasi 6 sudu adalah (3,353 \pm 0,002) V. daya maksimum diperoleh dengan menggunakan variasi 6 sudu dan resistor 1 K Ω dengan nilai yang diperoleh sebesar (5,157 \pm 0,025) Watt.

Kata Kunci: Arus, Daya, Tegangan, *Vortex*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THE EFFECT OF TURBINE BLADES NUMBER ON VORTEX WATER POWER PLANT BASED ON CONE

Name : Arya Sula Cakra Buana
NRP : 0111154000092
Department : Physics, Faculty of Sciences and Data Analytics, ITS
Advisor I : Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Advisor II : Iim Fatimah, M.Si.

ABSTRACT

Research of vortex based power plant design using cone basin has been finished. This research used turbine blade number variation. there are 3 variation : 6 blades, 3 blades, and 2 blades. This research used 4 variation of resistor. The variation are $k\Omega$, $15 k\Omega$, $20 k\Omega$, and $25 k\Omega$. The debit of the water flow is constant at $176,54 L/m$. The average of maximum torque is $(0,704 \pm 0,001)$ Nm and the average of maximum rpm is $(163,679 \pm 0,001)$ rpm. While the average of maximum current produced is (2.258 ± 0.002) mA by using 6 bladed turbine and $1 K\Omega$ resistor. The average of maximum voltage is $(3,353 \pm 0,002)$ V by using $25 K\Omega$ resistor and 6 bladed turbine and the maximum power produced is $(5,157 \pm 0,025)$ Watt by using 6 bladed turbine and $1 K\Omega$ resistor

Keywords : *Current, Power, Voltage, Vortex*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Segala puji bagi Allah SWT karena atas ridho, limpahan rahmat beserta hidayahnya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Vortex Air Berbasis Basin Kerucut”** ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing dan memberikan jalan dalam menuntun kami dari jalan kegelapan menuju cahaya kebenaran. Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, keluarga dan saudara-saudara saya tercinta yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Bachtera Indarto, M.Si dan Iim Fatimah, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan petunjuk dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Dr. Gatut Yudoyono, MT selaku Kepala Departmen Fisika FSAD ITS dan Drs. Hasto Sunarno, M.Sc. selaku Dosen Wali penulis.
4. Seluruh Dosen Pengajar di Departemen Fisika ITS. Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh anggota tim tugas akhir *vortex*, Achmad Rizki dan Gilang Fajariyan yang telah bekerjasama dan membantu dalam merancang alat dan pengambilan data tugas akhir ini.
6. Seluruh staff Laboratorium Fisika Dasar dan anggota penghuni Lab UPMB sekaligus rekan seperjuangan tugas akhir yang telah membantu semua kegiatan dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Keluarga Fisika ITS Angkatan 2015 dan teman-teman angkatan lain yang memberikan dukungannya selama pengerjaan tugas akhir ini

8. Terimakasih kepada Indomie, sosis Champ yang menemani proses perjuangan pembuatan laporan Tugas Akhir ini

Semoga laporan tugas akhir ini dapat menjadi referensi dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini maupun masa depan NKRI dan dunia. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih terdapat kekurangan baik isi maupun penulisan. Sehingga kritik dan saran sangat diharapkan agar terciptanya laporan yang lebih baik.

Surabaya, 29 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 PLTMH.....	5
2.2 Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi Vortex Air.....	6
2.3 Turbin Air.....	7
2.3.1 Turbin Vortex	8
2.4 Basin.....	9
2.5 Saluran masuk (inlet area)	9
2.6 Torsi.....	10

2.7	Pegas	12
2.8	Debit Air	14
2.9	Generator	14
2.10	Daya Listrik	16
BAB III METODOLOGI		17
3.1	Tahap-tahap Penelitian	17
3.2	Studi Literatur	18
3.3	Perancangan Alat dan Basin	18
3.4	Pembuatan Alat.....	22
3.5	Pengambilan Data	24
3.5.1.	Pengukuran konstanta pegas	24
3.5.2.	Pengukuran Torsi	25
3.5.3.	Pengukuran rpm	26
3.5.4.	Pengukuran tegangan dan arus.....	26
3.5.5.	Pengukuran Debit.....	26
3.6	Pembuatan Laporan	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Torsi Pada Turbin	29
4.2	Rotasi Per Menit (RPM).....	31
4.3	Tegangan, Arus, dan Daya Listrik.....	33
BAB V KESIMPULAN		39
DAFTAR PUSTAKA.....		41
LAMPIRAN		43
BIODATA PENULIS.....		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi Vortex air	7
Gambar 2. 2. Skema Turbin Vortex	8
Gambar 2. 3. Basin <i>Vortex</i> Berbentuk Kerucut.....	9
Gambar 2. 4. Tipe Saluran Masuk Air Pada Basin.....	9
Gambar 2. 5. Torsi pada benda	11
Gambar 2. 6. Percobaan Konstanta Pegas	13
Gambar 2. 7. Konsep Dasar Generator.....	15
Gambar 3. 1. Diagram Alur Penelitian.....	17
Gambar 3. 2. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Vortex Air.....	19
Gambar 3. 3. <i>Basin</i> kerucut	21
Gambar 3. 4. Turbin Dengan 2 Sudu Blade Tampak Atas	21
Gambar 3. 5. Turbin Dengan 3 Sudu Blade Tampak Atas	23
Gambar 3. 6. Turbin Dengan 6 Sudu Blade Tampak Atas	24
Gambar 3. 7. Turbin Dengan 6 Sudu Blade Tampak Samping ..	25
Gambar 3. 8. Rancang Bangun PLTV Air dengan Basin Kerucut	23
Gambar 3. 9. Pengukuran Konstanta Pegas Metode Statis.....	24
Gambar 3. 10 Pengukuran Torsi Turbin.....	25
Gambar 3. 11 Penampung Air.....	26
Gambar 4. 1. Grafik Torsi terhadap Jumlah Sudu.....	30
Gambar 4. 2. Grafik RPM Pada Setiap Pergantian Jumlah Sudu	32
Gambar 4. 3. Grafik Tegangan Tanpa Beban.....	33
Gambar 4. 4. Grafik Arus Terhadap Jumlah Sudu Dengan Beban	34
Gambar 4. 5. Grafik Tegangan Terhadap Jumlah Sudu Dengan Beban.....	35
Gambar 4. 6. Grafik perbandingan tegangan terhadap arus	36
Gambar 4. 7. Grafik Daya Terhadap Jumlah Sudu	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Torsi, RPM, Tegangan, dan Arus.....	43
Lampiran 2. Biodata.....	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terdapat kebutuhan pokok yang sangat dipertimbangkan di seluruh dunia pada abad modern. Jika kita melihat data yang diterbitkan IEA yakni *International Energy Agency*, pada tahun 2015 terdapat lebih dari 180 negara di seluruh dunia sangat berupaya mengembangkan sumber listrik yang bisa berkelanjutan, sehingga muncul suatu solusi berupa energi terbarukan. Energi terbarukan adalah solusi yang paling baik karena lebih bersih dan sejalan dengan upaya pemulihan keadaan bumi yang semakin memburuk.

Negara Indonesia memiliki cadangan gas bumi serta minyak yang semakin menipis, atas dasar hasil pertimbangan dewan energi nasional pada outlook energi Indonesia 2016, pemerintah telah tergerak untuk berupaya mengembangkan energi terbarukan sebagai tujuan pokok guna mengganti penggunaan energi bersumber fosil, hal ini memiliki alasan yang layak diperhitungkan, karena Indonesia memiliki prospek dan potensi yang lebih dari cukup akan tetapi belum termanfaatkan dengan baik. Contoh proyek yang sedang dilakukan oleh pemerintah Indonesia adalah pengembangan pada PLMTH (Pembangkit Tenaga Mikro Hidro) di berbagai desa yang berpotensi diterapkannya sistem PLMTH.

Di Indonesia sendiri, seiring dengan menipisnya cadangan minyak dan gas bumi berdasarkan *Outlook Energi Indonesia 2016* yang diterbitkan oleh Dewan Energi Nasional, Pemerintah terdorong untuk mengembangkan energi baru terbarukan sebagai prioritas utama untuk mengganti penggunaan energi fosil sebagai sumber energi, mengingat Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan yang cukup besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Salah satu proyek yang dikembangkan oleh pemerintah

saat ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Proyek ini telah dikembangkan diberbagai desa di tanah air (Outlook Energi Indonesia, 2016)

PLMTH termasuk contoh solusi efektif yang bisa diterapkan diberbagai daerah di Indonesia yang memiliki cukup banyak sungai sehingga memiliki potensi aliran air yang bisa dimanfaatkan, salah satu contoh sistem pembangkit yang bisa digunakan di Negara ini adalah mikro hidro *vortex*. Sistem pembangkit ini mulai semakin banyak dikembangkan diberbagai negara karena memiliki sistem yang tidak terlalu rumit dan hanya memerlukan ketinggian rendah. melihat kondisi tersebut maka sangatlah perlu dikembangkan energi alternatif terbarukan. Pada penelitian ini, untuk mengatasi kekurangan energi listrik di Indonesia, penulis melakukan penelitian dalam Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga *Vortex* Air Berbasis Basin Kerucut. Pemilihan jumlah sudu yang sesuai diharapkan mampu mempengaruhi demi tercapainya performa sistem PLMTH yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang terdapat pada penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Berapa nilai RPM yang dihasilkan pada setiap variasi sudu?
2. Berapa torsi maksimal yang dihasilkan setiap variasi sudu?
3. Berapa nilai arus dan tegangan yang dihasilkan setiap variasi sudu?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Untuk mengetahui nilai RPM yang dihasilkan setiap variasi sudu pada basin kerucut
2. Mengetahui besar torsi maksimal yang dihasilkan setiap variasi sudu yang berbasis basin kerucut

3. Mengetahui nilai arus dan tegangan yang dihasilkan setiap variasi sudu yang berbasis basin kerucut

1.4 Manfaat Penelitian

Sistem beserta alat ini diharapkan dapat memberikan manfaat yakni, dapat meminimalisasi penggunaan energi fosil karena diperoleh sumber energi baru yang dapat dibangkitkan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan sistem ini diharapkan membantu pemerintah dalam pembangunan daerah tertinggal yang belum mendapatkan listrik, dan membantu ketergantungan pemerintah terhadap sumber energi yang tidak dapat diperbarui.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Debit air tetap yang digunakan adalah 176,54 L/m.
2. Bentuk basin yang digunakan kerucut dengan diameter *inlet* 50cm sedangkan diameter *outlet* 3cm dan tinggi basin 60cm.
3. Dalam penelitian ini masih belum dicari tingkat efisiensi dari sistem yang digunakan
4. Saluran air pada basin kerucut yang digunakan adalah tipe tangensial
5. Bentuk sudu turbin yang digunakan pada penelitian ini hanya berbentuk trapesium dengan variasi 2, 3, dan 6 sudu.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini meliputi 5 bab sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir tentang beberapa materi penunjang untuk melakukan penelitian ini

BAB III: METODOLOGI

Bab ini berisi tentang metode dan tahap pengambilan data pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data-data yang diperoleh dari penelitian dan analisa data

BAB V : PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisikan identitas buku, jurnal, situs web, maupun hal lain yang dijaikan referensi dalam penulisan.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan data penelitian, biodata penulis tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PLTMH

PLTMH memiliki kepanjangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro, PLMTH memiliki kandungan makna yang secara bahasa memiliki artian, yakni mikro memiliki arti kecil, dan hidro yakni air. Sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa mikro hidro adalah pembangkit listrik tenaga air dalam skala kecil dikarenakan sistem pembangkit tersebut memanfaatkan aliran irigasi atau aliran sungai sebagai sumber tenaga agar bisa membuat turbin bergerak sehingga generator bisa berputar. Pada prinsipnya, PLMTH terdapat air yang mengalir dengan ketinggian minimal 2,5 meter dan memiliki debit minimal 250 liter/detik dan setelah itu dikonversi menjadi energi listrik, dengan adanya sistem mikro hidro akan lebih fleksibel karena tidak perlu membuat waduk besar yang seperti dibuat oleh PLTA.

Pembangkit PLTMH adalah salah satu PLTA *low head* berkapasitas kurang dari 500 KW, Mikrohidro memanfaatkan debit dan ketinggian jatuhnya air pada sungai kecil di desa-desa menghasilkan energi listrik dibawah 100 KW. Penggunaan energi mikrohidro menjadi alternatif untuk daerah pedesaan yang belum bisa teraliri listrik PLN. PLTMH memiliki kelebihan diantaranya :

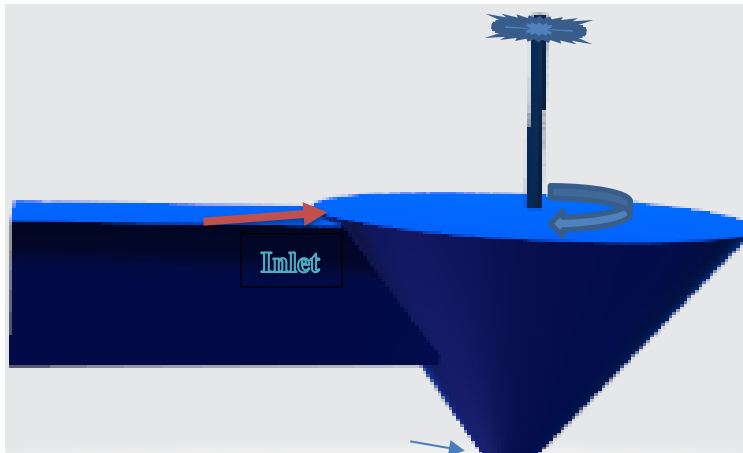
- Indonesia memiliki energi air yang melimpah
- Teknologi yang ramah lingkungan
- Tergolong sebagai energi terbarukan
- Teknologi yang memiliki kemampuan operasi lebih dari 50 tahun
- Biaya pembangkitan rendah
- Mendorong upaya penyelamatan lingkungan
- Output daya 10 KW – 100 KW
- Bisa digunakan di air tawar seperti sungai, air terjun, danau.

Teknologi PLTMH masih memiliki sisi kelemahan seperti memiliki investasi awal yang cukup besar, ketika musim kemarau akan memiliki ketergantungan pada debit air yang ada, dan teknologi ini masih berpotensi menjadi teknologi yang lebih konsumtif. Selain keuntungan dan kerugiannya, PLTMH bisa difungsikan pada jaringan irigasi yang memiliki tujuan menunjang pembangunan daerah sekitar terutama pada pedesaan. Persyaratan teknis dalam pembuatan PLTMH adalah harus memiliki pengelolaan jaringan irigasi yang baik agar pendistribusian ketersediaan air dan memenuhi debit sungai rata-rata pada musim kemarau. PLTMH harus dilakukan perawatan, peningkatan atau perbaikan secara seimbang, agar lebih tahan lama (Rohermanto, 2007).

Turbin, Air, generator, rumah turbin adalah komponen pokok. Generator akan mengkonversi energi, sehingga diperoleh energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik, selanjutnya dialirkan ke rumah atau tempat yang membutuhkan listrik. PLTMH memiliki banyak bentuk dengan prinsip kerja yang selaras yakni terjadinya konversi energi potensial dan kinetik menjadi energi listrik. Proses konversi pada PLTMH terjadi secara bertahap. Dari tenaga potensial akan menjadi tenaga kinetik, kemudian menjadi tenaga mekanik, lalu terkonversi menjadi tenaga listrik. Tenaga potensial diartikan sebagai tenaga air karena berada pada kedalaman, untuk energi kinetik diartikan tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar turbin. Energi listrik adalah hasil akhir akibat konversi oleh generator yang berputar dikarenakan turbin yang berputar (Dwiyanto, 2016).

2.2 Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi Vortex Air

Rancang bangun pembangkit listrik tenaga gravitasi vortex air memanfaatkan peristiwa terbentuknya pusaran air seperti pada Gambar 2.1 berikut



Gambar 2.1 Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi *Vortex* air

(Rohermanto, 2011).

Gambar 2.1 menunjukkan saat air masuk menuju sebuah basin yang melingkar dengan masukan air dalam wujud tangensial serta keluaran air pada inti basin, laju aliran air menuju bawah disebabkan perbedaan tinggi permukaan air dan *outlet*. Penyebab lainnya adalah adanya gravitasi bumi. *Vortex* adalah pusaran air pada basin. *Vortex* tersebut bisa menghasilkan torsi untuk mendorong turbin agar berputar sehingga menghasilkan energi mekanik yang akan dikonversi oleh generator, hasil konversi tersebut menjadi energi listrik (Power, 2016).

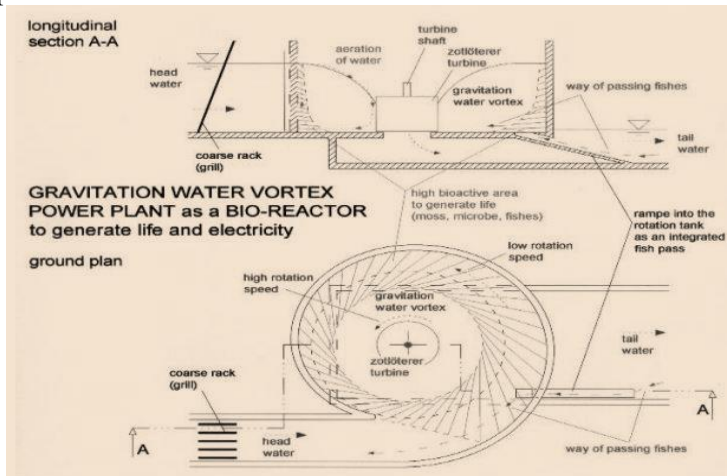
2.3 Turbin Air

Turbin air adalah suatu alat pengubah energi, energi yang diubah adalah energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial dan menjadi energi listrik jika terdapat generator. Turbin yang digunakan pada PLTMH tidak perlu membuat waduk seperti PLTA. Secara umum, PLTMH lebih menggunakan ketinggian air yang tinggi dan gravitasi bumi agar diperoleh energi listrik, berbeda aliran sungai dengan ketinggian

rendah belum dimanfaatkan dengan baik. Berdasarkan tinggi jatuh air ke turbin, terutama turbin air berbasis *vortex*. Turbin tersebut sangat memanfaatkan pusaran air yang didapat dari bentuk spiral basin dari turbin dan kemudian keluar menuju *outlet*. Letak dari *outlet* berada dalam basin, lebih tepatnya dibawah basin (Hakim, 2018).

2.3.1 Turbin Vortex

Turbin *vortex* memiliki nama lain, yaitu *gravitation water vortex power plant* oleh penemunya Frans Zotleterer, turbin ini lebih dikenal dengan nama turbin *vortex*. Turbin *vortex* bisa dilihat seperti pada Gambar 2.2



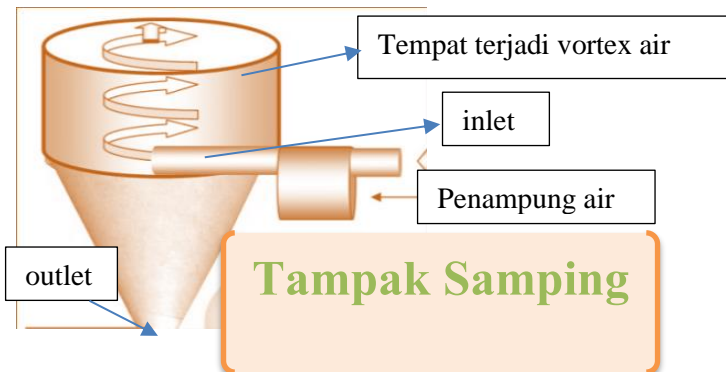
Gambar 2.2 Skema Turbin Vortex

Gambar 2.2 adalah skema turbin *vortex* tersebut adalah penggambaran dari Turbin Zotloterer atau turbin *vortex*. Pusaran air buatan dibutuhkan turbin untuk memutar sudu turbin, lalu energi pusaran air dikonversikan menjadi energi putaran pada poros. Sistem yang digunakan adalah air sungai dialirkan melewati jalur masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran, untuk di

bagian pusat bagian bawah tangki terdapat saluran buang yang berbentuk lingkaran dengan diameter ukuran kecil atau sedang. Lajur saluran buang kecil tersebut menyebabkan terjadinya *vortex* (Prasetyo, 2018).

2.4 Basin

Basin memiliki arti bak yang berfungsi sebagai wadah, wadah tersebut menampung *vortex* air. Pada basin juga terdapat turbin agar dapat berputar selaras dengan dorongan pusaran air. Contoh bentuk basin berbentuk kerucut ditunjukkan seperti pada Gambar 2.3



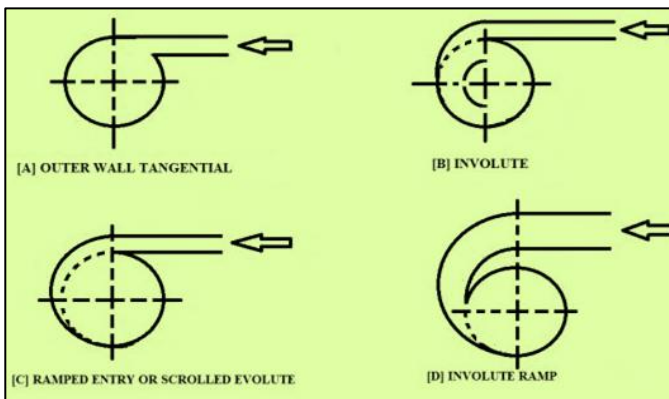
Gambar 2.3 Basin *Vortex* berbentuk kerucut

Gambar 2.3 adalah basin *vortex* yang berbentuk kerucut guna memperoleh tingkat efisiensi yang lebih baik. *Vortex* yang terbentuk pada basin akan mendorong turbin, selanjutnya energi gerak potensial serta kinetik yang terjadi bisa diubah oleh generator menjadi energi listrik dalam. Syarat terbentuknya *vortex* pada basin adalah diameter masukan air harus lebih besar daripada diameter keluaran aliran air. Apabila diameter keluaran aliran air terlalu besar serta debit air yang masuk dalam basin tidak cukup

besar, *vortex* air tidak akan terbentuk sempurna, dan bisa juga susah untuk terbentuk. (Dhakal, 2015).

2.5 Saluran masuk (inlet area)

Terdapat berbagai jenis saluran masuk pada basin seperti saluran masuk jenis tangensial, *involute*, saluran masuk tipe *scroll* dan jenis *involute ramp*. Bentuk *inlet* dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 tipe saluran masuk air pada basin

Gambar 2.4 adalah berbagai tipe yang dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan kinerja dari turbin. Dengan konstruksi lubang masuk dengan tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll* dapat mengurangi efek dari turbulensi yang terjadi disekitar dinding saluran masuk dan daerah antara saluran masuk (Prasetyo, 2018).

2.6 Torsi

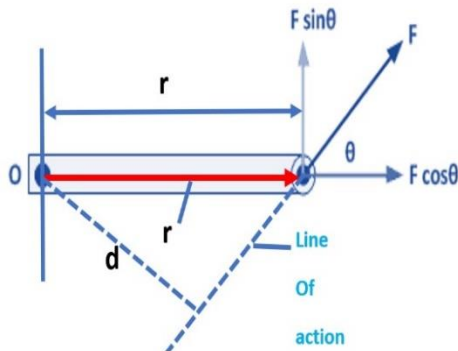
Torsi adalah gaya putar hasil dari kemampuan motor atau poros engkol dalam proses kerja, torsi bisa juga sebagai jumlah dari gaya putar yang diberikan kepada mesin terhadap panjang

lengannya. τ secara umum adalah simbol dari torsi. Satuan untuk satuan torsi adalah Pounds-feet. Untuk satuan torsi secara standar internasional adalah N.m (Prasetyo, 2018).

Ukuran kekuatan atau gaya yang mengakibatkan objek berputar di sekitar sumbu dikenal dengan nama torsi. Torsi dapat menyebabkan suatu objek memperoleh percepatan sudut. Torsi statis adalah torsi yang tidak menghasilkan percepatan sudut, misalnya pada saat seseorang mendorong pintu yang tertutup akan menerapkan torsi statis ke pintu karena pintu tidak berputar pada engselnya, meskipun ada gaya yang diterapkan. Manusia mengayuh sepeda dengan kecepatan konstan juga menerapkan torsi statis karena tidak berakselerasi. Torsi biasanya diganti dengan istilah momen, atau momen gaya. Jari-jari di mana gaya bertindak kadang-kadang disebut lengan momen. Besarnya torsi (τ) yang dihasilkan oleh gaya F yang diberikan seperti pada Persamaan 2.1 berikut.

$$\tau = F \cdot R \sin(\theta) \quad (2.1)$$

dimana r adalah panjang lengan momen, θ adalah sudut antara vektor gaya dan lengan momen, τ adalah torsi (khanacademy.org) Bentuk torsi pada benda ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Torsi pada benda

Gambar 2.5 menunjukkan kejadian pada waktu gaya F diberikan pada benda yang memiliki kemiringan ϕ akibatnya benda tersebut berotasi terhadap sumbu O sehingga torsi τ menjadi seperti Persamaan 2.2 dibawah ini:

$$\tau = F \sin\phi . r = Fr \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 diketahui bahwa r yakni garis tegak lurus gaya F terhadap titik O suatu benda (serway, 2013).

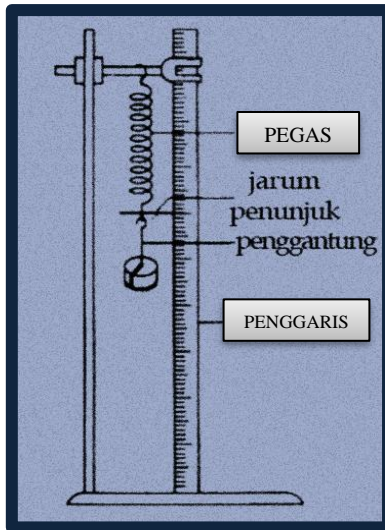
Perubahan panjang pegas yang digunakan untuk mendapatkan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin. Sehingga Persamaan 2.3 dapat berubah menjadi:

$$\tau = k . \Delta x . r \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 menunjukkan bahwa τ adalah torsi (N/m), k adalah konstanta pegas, Δx adalah perubahan panjang pegas (m), dan untuk jari-jari poros turbin disimbolkan dengan r .

2.7 Pegas

Salah satu contoh dari benda elastis adalah pegas, pada saat pegas ditarik yakni diberi gaya tekan atau regang dan dilepaskan kembali maka pegas akan kembali pada posisi setimbang, kembalinya pegas ke posisi setimbang dikarenakan gaya yang telah diberikan dihilangkan sehingga terjadi proses gaya pemulih. penambahan panjang bervariasi dan bergantung pada besarnya gaya yang diberikan, ketika gaya yang diberikan kecil maka perubahan panjang pegas akan kecil dan terjadi proses sebaliknya. karakteristik pegas juga berpengaruh pada penambahan panjang setiap pegas. Telah ditunjukkan simulasi pegas pada Gambar 2.6 berikut .



Gambar 2. 6 Percobaan Konstanta pegas

Gambar 2.6 adalah simulasi percobaan konstanta pegas. Robert Hooke seorang ilmuwan asal Inggris telah melakukan analisa, penelitian dan memiliki kesimpulan bahwa sifat dari elastis pegas memiliki keterbatasan, dan penambahan panjang pegas akan sebanding dengan besar gaya pegas. Secara matematis, pernyataan Hooke dapat ditunjukkan oleh Persamaan 2.2.

$$F = -k \Delta x. \quad (2.4)$$

Dengan k adalah tetapan pegas / konstanta pegas (N/m), F adalah gaya tarik, dan Δx adalah penambahan Panjang. Alasan terdapat tanda (-) adalah disebabkan karena terdapat suatu gaya yakni gaya pemulih pada pegas yang berkebalikan dari arah tujuan atau gerak pegas itu sendiri (Liana, 2011).

2.8 Debit Air

Pada waktu terjadi peristiwa suatu volume air mengalir pada satuan waktu khusus atau laju aliran air yang lewat suatu penampang per satuan waktu bisa disebut sebagai debit. (Dwiyanto, 2016). Debit itu sendiri bisa dicari dengan metode Persamaan 2.5:

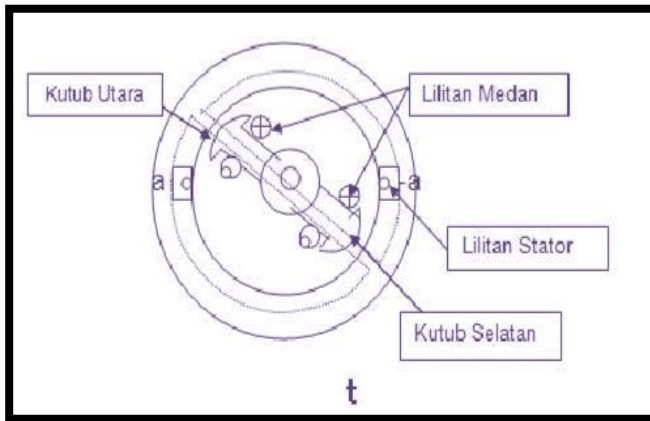
$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 menunjukkan bahwa Debit (m^3/s) adalah Q , Volume wadah (m^3) adalah V dan waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi wadah (s) disimbolkan sebagai t . Faktor parameter yang diukur seperti elevasi muka air, kecepatan aliran serta tampang lintang sungai. Kemudian debit aliran dihitung dengan mengalikan luas penampang beserta kecepatan suatu alirannya (Dwiyanto, 2016).

2.9 Generator

Jenis generator yang digunakan adalah salah satu faktor penentu proses kinerja suatu pembangkit listrik. Fungsi generator untuk mengubah energi mekanik ke energi listrik sangat bermanfaat, dan lebih baik jika ditunjang tambahan perangkat lainnya. Perangkat tambahan pasti akan menyebabkan kemampuan terbaik suatu generator digunakan, sehingga peran generator untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik bisa terlaksana. Pemilihan generator yang cocok dan kapasitas dari suatu generator pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro sangat dipengaruhi dari beberapa aspek seperti debit air (Q), penampang pipa pesat, head atau tinggi jatuh air (H) dan volume air dalam bak (V) (Desmiwarman, 2015). Generator memiliki prinsip kerja dengan bantuan proses konversi energy oleh mesin listrik, pada proses itu terjadi proses konversi energi mekanis menjadi energi listrik. hukum Faraday digunakan sebagai prinsip dasar generator.

Generator terdiri dari lilitan stator dan lilitan rotor. Lilitan rotor dialiri arus searah melalui sikat arang pada cincin slip. Lilitan stator terdiri dari beberapa buah lilitan (N), konsep dasar generator ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 konsep dasar generator

Gambar 2.7 adalah bentuk bagian dalam generator yang terdiri dari lilitan rotor yang telah dialiri arus searah diputar dengan kecepatan tetap oleh penggerak mula. Dengan adanya putaran rotor maka pada kumparan statorakan terinduksi fluks magnet dengan bentuk gelombang sinusoidal (Pamudji, 2014). Pada kasus generator AC digunakan medan magnetik yang berputar sehingga menyebabkan energi listrik dan lilitan strator bisa keluar. arus penguatan pada rotor adalah hasil dari satu atau lebih lilitan generator yang terpasang pada poros dimana rotor juga dipasang. listrik yang diperoleh akan disearahkan oleh dioda. Dioda adalah elemen pengantar tanggung yang meneruskan arus listrik satu arah. Generator DC sama dengan generator AC dalam prinsip kerja, tetapi pada generator dc tidak ada perubahan arus induksi dikarenakan generator DC menggunakan komutator (cincin belah).

Komutasi disebabkan oleh komutator, peristiwa komutasi membuat arus hasil generator menjadi searah. penyearah tegangan adalah fungsi komutator, besar tegangan hasil dari generator DC sama dengan jumlah putaran serta besar arus penguat medan dan arus eksitasi (Pradana, 2012).

2.10 Daya Listrik

Daya listrik adalah perubahan energi listrik selama selang waktu tertentu. Listrik adalah jumlah energi terserap atau hasil dalam suatu rangkaian. Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh alat listrik ditunjukkan seperti pada Persamaan 2.4.

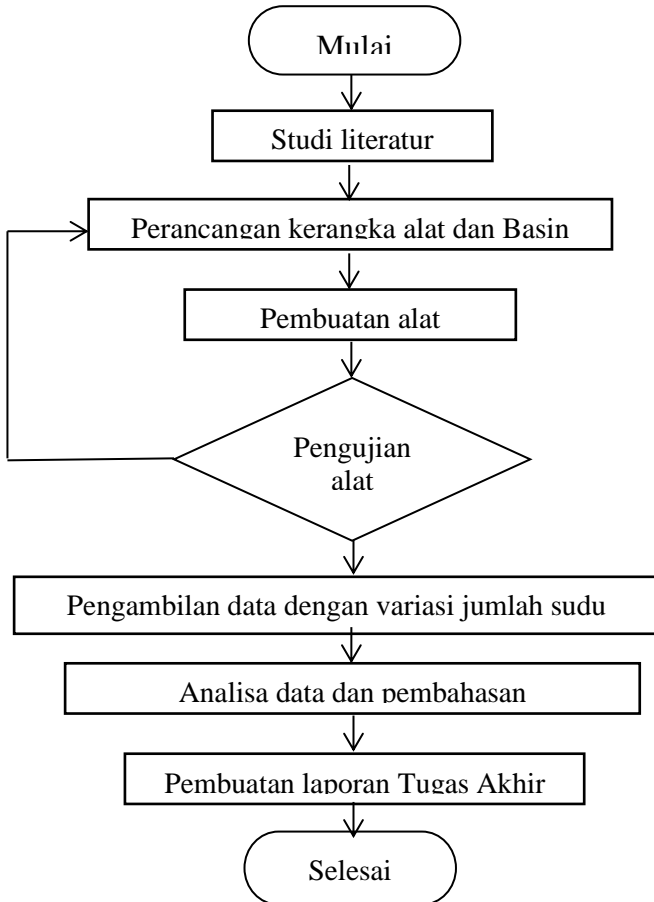
$$P = V \cdot I \quad (2.6)$$

Rumus diatas terdiri dari P = Daya Listrik (Watt) V = Tegangan (Volt) I = Arus Listrik (Ampere). Persamaan umum ini menyatakan daya yang dikonversi oleh suatu alat dimana I adalah arus yang melewatinya dan V adalah beda potensialnya. Rumus tersebut menyatakan daya yang diberikan oleh suatu sumber. Watt adalah satuan daya listrik untuk semua jenis daya dimana 1 Watt sama dengan 1 J/s (Giancoli, 2014).

BAB III METODOLOGI

3.1 Tahap-tahap Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan langkah yang selaras dengan diagram alir pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1. Diagram alur penelitian

Gambar 3.1 adalah arah penelitian tugas akhir yang diawali dengan pengumpulan sumber literatur yang berhubungan dengan pembangkit listrik tenaga *vortex* air sebagai dasar dan arah penelitian. Tahap selanjutnya adalah merancang konsep alat beserta basin. Langkah berikutnya adalah merangkai alat dan dilakukan pengujian setelah alat sudah terangkai. Untuk pengambilan data dilakukan dengan variasi jumlah sudu 2, 3, dan 6. Setelah data diperoleh dilakukan olah data sehingga dapat dilakukan analisa dan mendapatkan hasil analisa berupa pembahasan, setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan laporan tugas akhir.

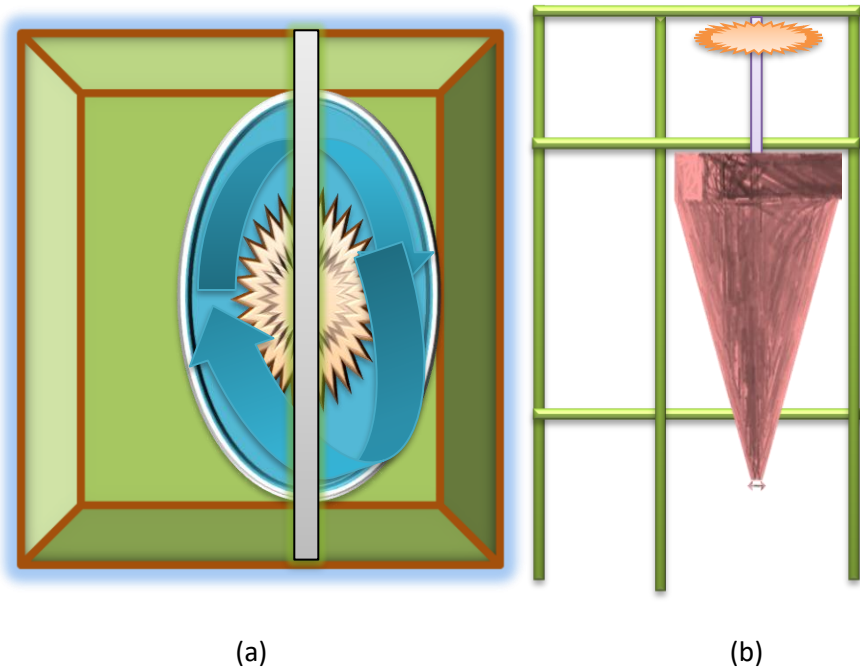
3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung proses pembuatan tugas akhir pembangkit listrik tenaga *vortex* air sehingga bisa memahami arah dan alur penelitian yang dapat membantu proses penelitian dari awal hingga akhir penulisan laporan tugas akhir. Pada tahap ini dilakukan untuk mendapatkan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat menjadi acuan dalam melakukan analisis dan pembahasan. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi buku-buku teks, artikel, jurnal ilmiah serta *website* resmi di internet.

3.3 Perancangan Alat dan Basin

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembelajaran terhadap referensi yang sudah ada, maka akan dibuat desain yang akan digunakan pada penelitian ini seperti perancangan bahan yang

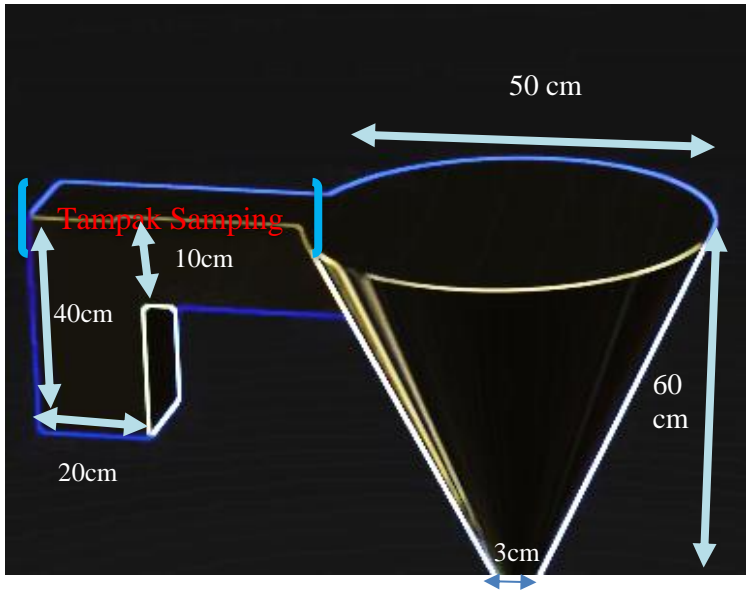
digunakan, head, debit air, dan lain sebagainya, sehingga penempatannya seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2. Rancang bangun Pembangkit listrik tenaga vortex air (a) Tampak atas (b) Tampak samping

Gambar 3.2 (a) adalah rancang bangun pembangkit listrik tenaga vortex air tampak bagian atas dimana terlihat pada basin terdapat turbin yang akan berputar dan membentuk vortex air dan Gambar 3.2 (b) adalah rancang bangun pembangkit listrik tenaga vortex air tampak bagian samping yang menunjukkan rancangan alat tersebut memiliki bahan dasar dari besi berbentuk L sebagai penyangga basin dan komponen lainnya. Komponen utama dari rancang bangun alat ini adalah basin dan Gear yang terdapat pada kerangka.

Pada tugas akhir ini telah digunakan *basin* berbentuk kerucut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3. *Basin* kerucut

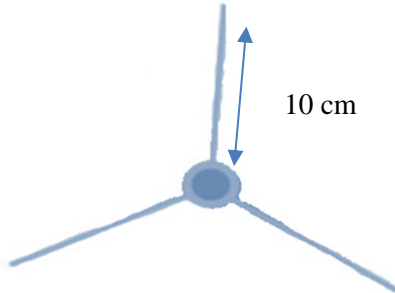
Gambar 3.3 menunjukkan *outlet* basin memiliki diameter 3 cm. Basin memiliki diameter permukaan atas 50 cm, dan tinggi basin adalah 60 cm. Pada samping basin terdapat *inlet* tempat selang air akan terpasang dengan tinggi 10 cm, dan memiliki penampung air berdiameter 20 cm dan tinggi sebesar 40 cm.

Perancangan turbin beserta jumlah variasi sudu atau *blade* pada turbin dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



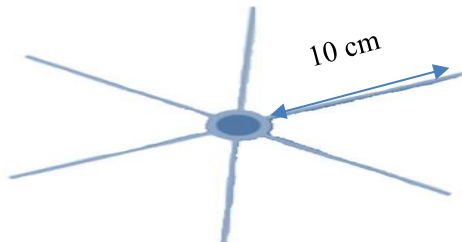
Gambar 3. 4. Turbin dengan 2 sudu *blade* tampak atas

Gambar 3.4 menunjukkan turbin dari sisi atas yang memiliki jumlah variasi 2 *blade* dimana arah tiap *blade* adalah simetri. Pada variasi yang lebih banyak ditampilkan pada Gambar 3.5 berikut.



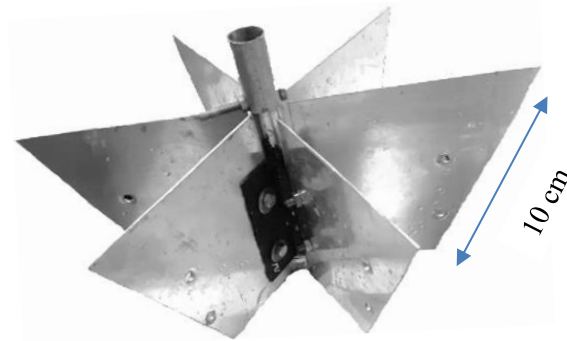
Gambar 3. 5. Turbin dengan 3 sudu *blade* tampak atas

Gambar 3.5 menunjukkan turbin dari sisi atas yang memiliki jumlah variasi 3 *blade* dimana arah tiap *blade* adalah simetri. Untuk variasi blade yang lebih banyak ditampilkan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6. Turbin dengan 6 sudu *blade* tampak atas

Gambar 3.6 menunjukkan turbin dari sisi atas yang memiliki jumlah variasi 6 *blade* dimana arah tiap *blade* adalah simetri. Jika dari samping ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3. 7. Turbin dengan 6 sudu *blade* tampak samping

Gambar 3.7 menunjukkan turbin dari sisi samping yang berbentuk trapesium berbahan logam dimana turbin yang digunakan memiliki jumlah variasi 6 *blade* dimana arah tiap *blade* adalah simetri.

3.4 Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan setelah perancangan alat dan basin yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, besi jenis L digunakan dan dirangkai, tahap berikutnya adalah disatukan dengan basin berbentuk kerucut. *Gear* berbahan dasar akrilik dipasang dengan turbin beserta *blade* yang terbuat dari logam. *Bearing* terpasang diantara rangka dengan turbin dengan tujuan memudahkan turbin untuk berputar. Turbin yang digunakan memiliki *blade* yang akan divariasikan berdasarkan jumlah sudu. pada *blade* terdapat pengunci agar bisa dilakukan bongkar pasang jumlah sudu. berikut proses pembuatan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8.



(a)

(b)

Gambar 3. 8. Rancang bangun PLTV air dengan *basin* kerucut

(a) Tampak atas (b) Tampak samping

Gambar 3.8 (a) tampak atas adalah turbin yang dikunci pada rangka dengan bantuan *bearing* agar berputar secara stabil dan Gambar 3.8 (b) adalah bentuk jadi alat tugas akhir yang digunakan. Gambar-gambar diatas adalah hasil dari pembuatan rancang bangun pembangkit listrik tenaga *vortex* air dengan menggunakan *basin* kerucut. Rancang bangun ini telah disesuaikan dengan rancang bangun dan untuk dilakukan pengujian serta pengambilan data. Pada proses pengambilan data pengaliran air dengan menggunakan 4 buah pompa diperoleh debit tetap 176,54 L/m.

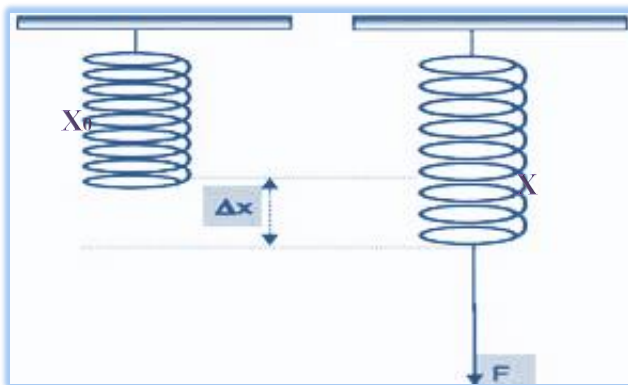
Pengukuran debit air didapatkan dengan pada pengisian kotak penampungan air yang memiliki volume 9m^3 .

3.5 Pengambilan Data

Proses setelah dilakukan pengujian alat, yakni dilakukan pengambilan data. Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah berupa torsi dan rpm yang dihasilkan oleh turbin, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator serta nilai daya total yang diperoleh pembangkit listrik tenaga pusanan air. Pada penelitian ini menggunakan variasi jumlah sudu turbin dengan variasi 2, 3 dan 6 sudu pada kedalaman yang dihitung dari permukaan *basin* yakni 8 cm.

3.5.1. Pengukuran konstanta pegas

Pengukuran konstanta pegas dilakukan dengan cara percobaan statis seperti pada Gambar 3.9



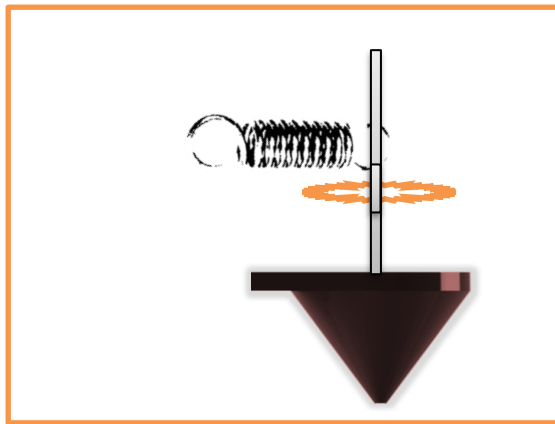
Gambar 3. 9. Pengukuran konstanta pegas metode statis

Gambar 3.9 menunjukkan beban yang digunakan sebanyak 5 variasi beban yang dilakukan selama 10 kali

pengulangan sehingga akan mendapat nilai konstanta pegas yang maksimal.

3.5.2. Pengukuran Torsi

Untuk proses pengukuran Torsi dilakukan dengan cara percobaan seperti pada Gambar 3.10 dengan menggunakan pegas yang sama pada tahap pengambilan data konstanta pegas yang selanjutnya akan dicari dengan menggunakan Persamaan 2.1. bentuk pengukuran torsi ditunjukkan pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3. 10. Pengukuran torsi turbin

Gambar 3.10 menunjukkan Ilustrasi pengambilan data torsi. Gambar diatas telah ditampilkan suatu pegas, pegas tersebut digunakan sebagai rem terhadap poros turbin, sehingga diperoleh perubahan panjang pegas yang digunakan untuk mendapatkan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin melalui Persamaan 2.1. Dapat dilihat pada saat turbin telah berputar, selanjutnya dihubungkan sebuah pegas melalui tali, menyebabkan perputaran turbin menjadi melemah kemudian berhenti beberapa saat, hal ini adalah akibat efek pengereman dari pertambahan panjang pegas yang digunakan.

3.5.3. Pengukuran rpm

Proses pengukuran rpm digunakan metode lama (*classic*) yakni analisa perputaran turbin pada setiap menitnya. Rpm diukur dengan cara menghitung jumlah putaran pada turbin selama waktu 1 menit. Rpm dihitung dengan menyambung kawat pada besi turbin, lalu dihitung dalam 1 menit berapa kali kawat menyentuh tangan.

3.5.4. Pengukuran tegangan dan arus

Pada proses pengambilan data tegangan beserta arus yang dihasilkan oleh generator yakni digunakan multimeter digital. Nilai yang terbaca pada multimeter adalah nilai arus dan tegangan yang diproduksi oleh pembangkit listrik tenaga *vortex* air.

3.5.5. Pengukuran Debit

Pelaksanaan pengukuran debit dilakukan dengan cara menghitung jumlah volume pada balok (penampung air) dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 40 cm. Bentuk penampung ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3. 11. Penampung Air

Gambar 3.11 menunjukkan tempat penampung air, proses pengukuran dilakukan dengan mengalirkan air dari pompa ke penampung air (balok) dan disertai menghitung waktu sampai penampung air berbentuk balok tersebut penuh sehingga akan didapat nilai debit air yaitu 176,54 L/m.

3.6 Pembuatan Laporan

Pada saat tahapan 3.1 sampai dengan tahapan 3.5.5 telah dilakukan dan didapatkan data berupa torsi, rpm, tegangan, dan arus, kemudian dibuat laporan hasil penelitian yang telah dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

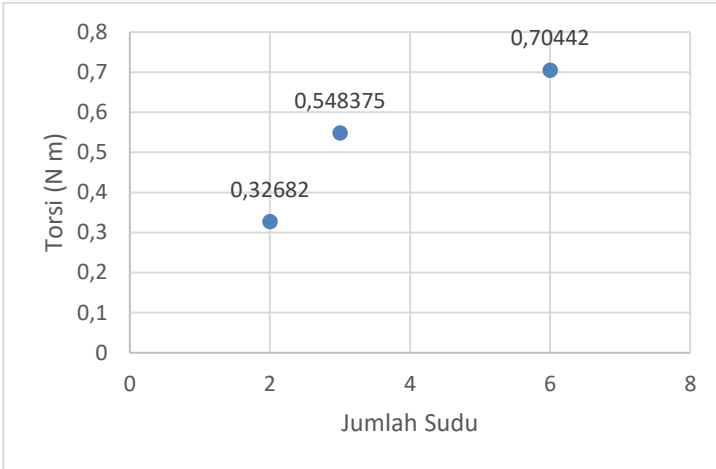
4.1 Torsi pada Turbin

Pada percobaan tugas akhir ini untuk turbin digunakan basin berbentuk kerucut karena dari percobaan Achmad Rizki, Rivanul Luqman Pradana, dan saudara Haswin lebih baik dari basin berbentuk tabung, selanjutnya pada percobaan ini telah memperoleh nilai dari suatu torsi dengan metode sederhana seperti dilakukan pengereman pada poros turbin dengan dililitkan suatu tali sehingga turbin akibat pusaran air akan tertahan dan ditunggu hingga putaran poros dari turbin stabil lalu disambungkan dengan pegas, efeknya adalah pegas terjadi peregangan bersamaan dengan pengereman putaran pada poros turbin pembangkit listrik tenaga *vortex* air. Torsi pengereman diperoleh dengan dilakukan penggunaan pegas yang sama pada saat mencari nilai dari konstanta pegas. Konstanta pegas yang dihasilkan dari percobaan adalah 159,1220 N/m dan jari-jari dari poros turbin berukuran 0,9 cm Pada penelitian kali ini menggunakan turbin berbentuk trapesium dengan variasi jumlah sudu yakni 6 sudu, 3 sudu, dan 2 dimana setiap sudu adalah simetri.

Pada percobaan tugas akhir ini untuk Δx (perubahan Panjang pegas) diperoleh atas dasar nilai x_1 , x_1 adalah suatu panjang pegas pada saat dilakukan suatu proses pengereman pada poros turbin yang dikurangi dengan panjang asal pegas tanpa disertai perlakuan, bias ditafsirkan merupakan delta dari kondisi asal (awal) dan akhir dari pegas itu sendiri. Berdasarkan persamaan 2.3 yang telah dicantumkan, maka nilai torsi didapatkan seperti pada tabel 2 (torsi hasil pengukuran) yang diletakkan pada lampiran. Alasan dipilih variasi jumlah sudu 2, 3 dan 6 adalah agar *blade* pada turbin simetri sehingga seimbang.

Grafik nilai torsi terhadap variasi jumlah sudu, nilai yang didapatkan terlihat bahwa semakin banyak penempatan jumlah sudu terhadap permukaan air maka semakin besar juga torsi yang

akan dihasilkan. Ketika jumlah sudu maka akan terjadi proses sebaliknya, karena semakin dekat penempatan variasi jumlah sudu turbin terhadap permukaan air, maka akan semakin kecil nilai torsi yang dihasilkan dapat terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Grafik Torsi terhadap Jumlah Sudu

Gambar 4.1 yang menunjukkan perbandingan antara nilai torsi terhadap jumlah sudu adalah linier. Hal ini dikarenakan semakin banyak sudu yang digunakan akan diperoleh nilai torsi yang lebih besar, alasan kenapa semakin besar nilai torsi yang dihasilkan adalah dikarenakan ketika jumlah sudu hanya 2 akan semakin kecil daya dorong yang diterima oleh blade akibat hantaman pusaran air, sebaliknya ketika jumlah sudu menjadi 3 atau 6 maka daya dorong yang diterima *blade* oleh hantaman pusaran air akan semakin banyak sehingga nilai yang dihasilkan akan semakin besar. Untuk kecepatan rotasi dibantu dengan gaya gravitasi yang membuat terjadi pusaran air atau *vortex* air. Air tersebut mengalir ke *outlet* sehingga kekuatan pusaran air menyebabkan bertambahnya nilai

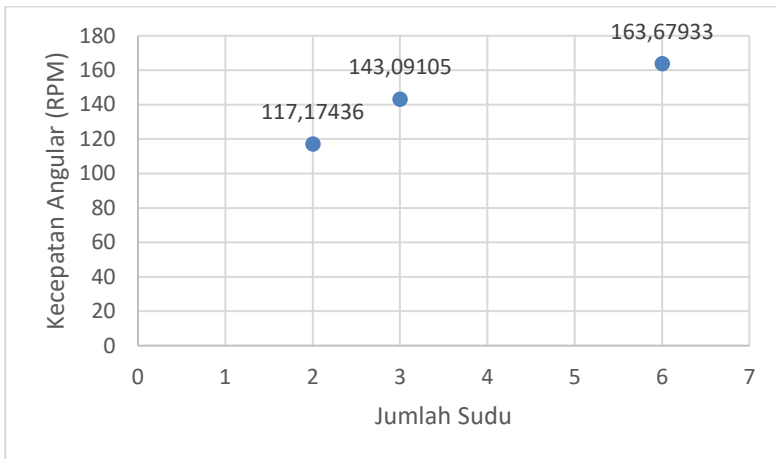
torsi yang diperoleh. Pompa juga mempengaruhi hasil torsi dimana *vortex* air juga terjadi disebabkan oleh debit air yang mengalir dari sumber (pompa air), aliran debit air yang semakin besar berbanding lurus dengan semakin besar torsi yang dihasilkan juga.

4.2 Rotasi Per Menit (RPM)

Peristiwa Pusaran air pada basin berbentuk kerucut terjadi disebabkan adanya aliran air yang masuk menuju *inlet* kemudian memasuki wadah basin sehingga aliran air berputar pada basin membentuk arah dan terjadi peristiwa pusaran air yang akan mendorong blade pada turbin dan tercipta suatu rotasi. Pada percobaan ini, setiap putaran turbin dihitung dan dinyatakan pada kecepatan sudutnya dengan satuan RPM atau rotasi permenit. Pengambilan data rotasi permenit dilakukan dengan cara menghitung jumlah putaran turbin dalam waktu 60 detik atau setara 1 menit. Pada tabel 4 RPM hasil pengukuran yang terletak dilampiran dapat dilihat bahwa nilai kecepatan rotasi turbin dengan variasi berjumlah 6 sudu, variasi berjumlah 3 sudu, dan variasi berjumlah 2 sudu.

Data bisa dilihat bahwa perbandingan nilai rotasi permenit dalam perbedaan variasi jumlah sudu adalah semakin banyak jumlah sudu pada turbin atau bisa dikatakan semakin banyak *blade* atau sudu pada turbin dari permukaan air sehingga *blade* terdorong oleh hantaman pusaran air, maka nilai rotasi per menit yang dihasilkan akan semakin besar, adapun pun sebaliknya semakin sedikit variasi jumlah sudu pada turbin, akan sedikit gaya dorong air yang diterima blade sehingga nilai rpm yang dihasilkan akan semakin kecil. Terdapat faktor lainnya yaitu pengaruh gaya gravitasi bumi ditambah saluran *outlet* pada basin berbentuk kerucut yang mengarah ke bawah akan mempengaruhi aliran dan pusaran air sehingga semakin kebawah, bisa membuat pusaran air yang terbentuk akan semakin kuat dan hal ini akan diikuti oleh kecepatan rotasi dari turbin dimana blade atau sudu pada turbin ikut terdorong oleh arah pusaran air sehingga berpengaruh pada nilai

rotasi per menit yang dihasilkan oleh putaran dari turbin. Untuk pengaruh jumlah variasi sudu pada turbin, nilai tertinggi didapatkan adalah pada jumlah 6 sudu yakni 163,6865 RPM yang ditunjukkan pada tabel 3 dilampiran. Sedangkan jika rata-rata nilai tertinggi rpm akan tetap pada variasi dengan jumlah sudu adalah 6 dengan nilai kecepatan angularnya adalah 163,67933 RPM yang telah ditunjukkan pada tabel 4. Untuk grafik perbandingan nilai RPM pada setiap variasi jumlah sudu pada turbin ditunjukkan pada Gambar 4.2.



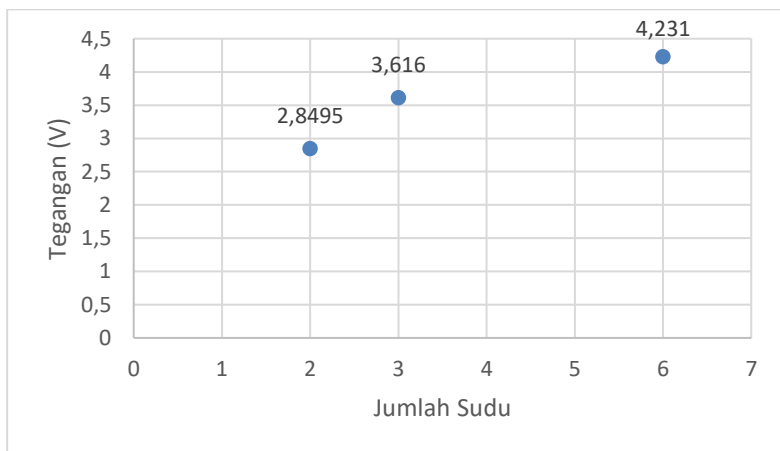
Gambar 4. 2. Grafik RPM pada setiap pergantian jumlah sudu

Gambar 4.2 menunjukkan nilai rata-rata rpm pada turbin didapatkan rentang nilai terbesar 163,67933 RPM dimana lebih besar daripada variasi lainnya. Pada pembangkit listrik tenaga pusanan air ini, kecepatan putaran turbin saling berkaitan dengan pusanan air yang terbentuk. Hal ini disebabkan pada waktu pusanan air semakin baik maka terjadi peningkatan kecepatan turbin yang memiliki efek berupa percepatan yang terjadi pada kecepatan turbin, bisa disimpulkan bahwa pusanan air menggerakkan turbin

dan akibatnya turbin berputar, pada proses berputarnya turbin akan ada energi mekanik yang akan diubah oleh generator menjadi daya, disini sudah jelas hasil putaran turbin yang semakin cepat akibat *vortex* air yang terbentuk juga semakin kuat. Nilai rpm lebih rendah pada grafik karena jumlah sudu lebih rendah yaitu dengan variasi 3 sudu sebesar 143,091 dan variasi jumlah sudu 2 dengan nilai sebesar 117,174 rpm.

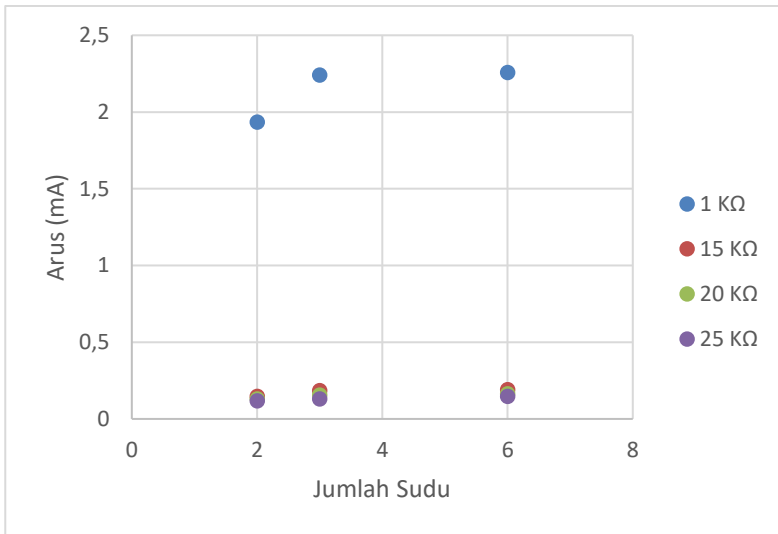
4.3 Tegangan, Arus, dan Daya Listrik

Pada penelitian tugas akhir ini dibutuhkan generator untuk mendapatkan daya. Pengambilan data arus beserta tegangan pada penelitian tugas akhir dilakukan dengan menghubungkan generator serta dihubungkan pada multimeter digital. Proses pengambilan data diulang sebanyak 20 kali. Data tegangan tanpa beban bisa dilihat pada tabel 5 dan rata-ratanya pada tabel 6. Data dari tegangan dan arus dengan beban ditunjukkan pada Tabel 7. Grafik perbandingan tegangan tanpa beban terhadap jumlah sudu ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.



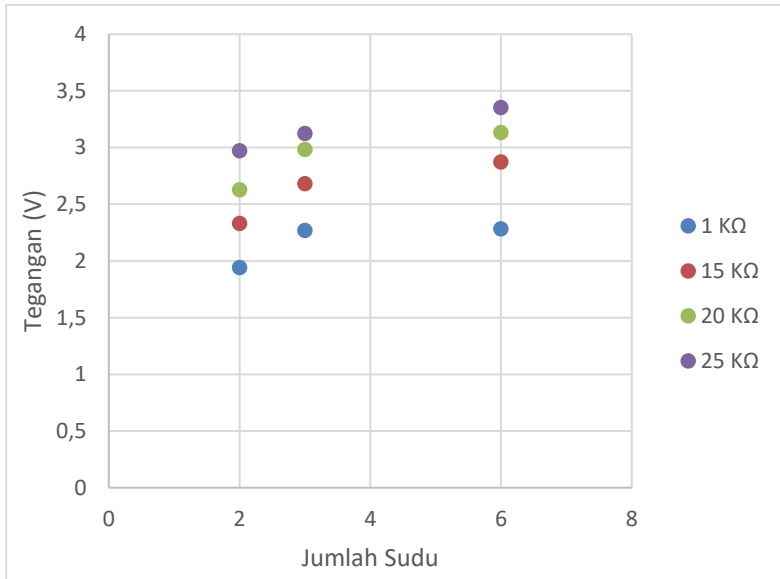
Gambar 4. 3 Grafik Tegangan tanpa beban

Gambar 4.3 adalah grafik tegangan tanpa beban, hasil penelitian tugas akhir menghasilkan data yang disimulasikan seperti grafik diatas. Pada grafik terlihat semakin banyak jumlah sudu menyebabkan semakin besar tegangan. Hal tersebut juga berlaku sebaliknya dimana semakin sedikit jumlah sudu akan diperoleh tegangan semakin kecil. Hubungan antara arus, resistor dan jumlah sudu ditunjukkan pada Gambar 4.4 dibawah ini.



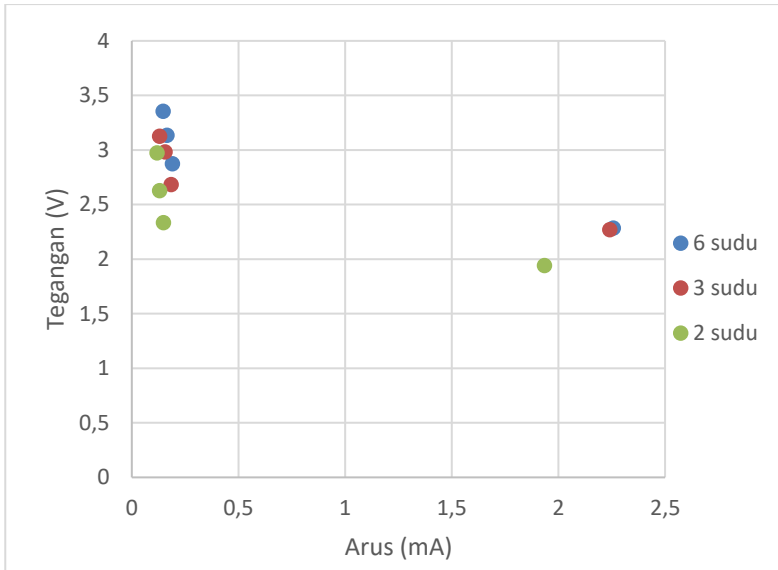
Gambar 4. 4. Grafik Arus terhadap jumlah sudu dengan beban

Gambar 4.4 merupakan grafik arus dengan beban terhadap variasi jumlah sudu. Berdasarkan grafik diatas, diketahui semakin kecil resistor dan semakin banyak jumlah sudu, akan menghasilkan arus yang semakin besar. Hasil dari pengambilan data arus dengan menggunakan pembebanan resistor dapat dilihat pada Tabel 7 dan rata-rata hasil pengukuran dengan resistor pada tabel 8. Untuk hubungan tegangan dengan jumlah sudu ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5. Grafik tegangan terhadap jumlah sudu dengan beban

Gambar 4.5 telah menunjukkan nilai tegangan akan semakin besar ketika jumlah sudu semakin banyak dan semakin besar tegangan jika resistor yang dibebankan juga bertambah besar. Untuk pengaruh tegangan terhadap arus ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.

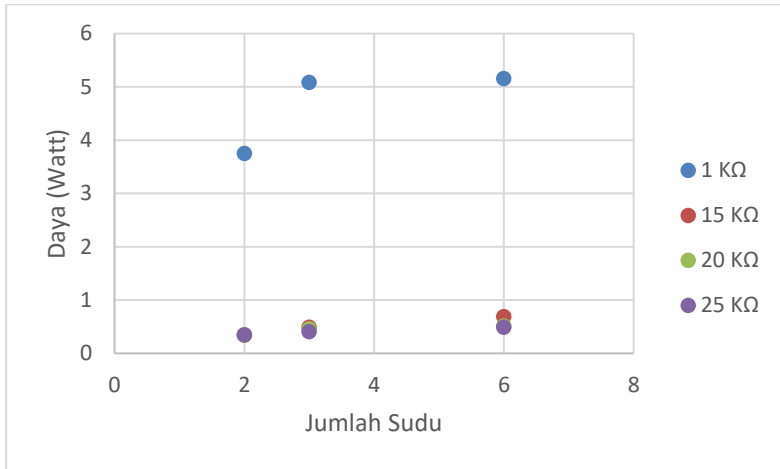


Gambar 4. 6. Grafik perbandingan tegangan terhadap arus

Gambar 4.6 telah membandingkan tegangan terhadap arus, dimana terlihat bahwa dengan beban resistor $1\text{ k}\Omega$ perbandingan antara nilai tegangan dan arus memiliki nilai yang stabil dan relatif berdekatan akan tetapi ketika beban resistor ditambah dengan jarak cukup jauh yakni $15\text{ k}\Omega$, $20\text{ k}\Omega$ dan $25\text{ k}\Omega$ akan terjadi perubahan yang cukup signifikan, dimana semakin besar tegangan dan resistor maka semakin kecil nilai arus, berlaku juga untuk sebaliknya, apabila semakin kecil nilai arus dan beban resistor, maka akan semakin besar nilai tegangan yang akan diperoleh.

Setelah diperoleh nilai daya listrik hasil dari generator yang didapatkan menggunakan persamaan 2.2 berdasarkan data arus dan tegangan dengan menggunakan beban berwujud resistor yang memiliki 4 buah variasi resistor. Pada tabel 9 dihasilkan nilai daya terbesar yaitu $5,157\text{ Watt}$, sebaliknya untuk daya listrik dengan nilai terkecil adalah $0,340\text{ Watt}$ hal ini disimulasikan pada

grafik daya terhadap jumlah sudu yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7. Grafik Daya terhadap jumlah sudu

Gambar 4.7 menunjukkan ketika nilai daya terkecil dihasilkan adalah 0,340 Watt maka diketahui bahwa semakin besar beban resistor, daya yang dihasilkan akan semakin kecil dan ini juga sama dengan semakin sedikit jumlah sudu maka semakin sedikit daya yang dihasilkan. Gambar grafik 4.7 juga telah menunjukkan bahwa semakin besar jumlah sudu maka semakin besar nilai daya yang dihasilkan dan beban resistor semakin kecil maka akan menyebabkan nilai daya akan semakin besar, hal ini dibuktikan dengan daya didapatkan sebesar 5,157 Watt pada jumlah sudu 6 yang terbebani dengan hanya resistor 1000 Ω .

Pada sisi daya listrik, torsi beserta rpm yang diperoleh dengan cara perhitungan tegangan serta arus hasil penelitian tugas akhir. Data torsi, daya listrik, rpm memiliki koneksi yang saling berkaitan dan mempengaruhi hasil satu dengan yang lainnya.

Contohnya adalah jika ditinjau dari data penelitian, pada saat turbin memberikan semakin tinggi nilai torsi, nilai dari rpm akan ikut terpengaruh dalam wujud nilai rpm yang juga ikut semakin besar, jika turbin menghasilkan nilai torsi semakin kecil juga mempengaruhi nilai rpm yang mengikuti semakin kecil, hal ini selaras dengan teori yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

Suatu kecepatan *vortex* air didalam basin kerucut memiliki dampak pada kecepatan rotasi dari turbin , pada saat *vortex* air semakin besar membuat turbin berputar lebih cepat, sehingga torsi yang diperoleh juga ikut semakin besar. Daya listrik dari generator, memiliki nilai yang juga selaras dengan kecepatan rotasi dari turbin. Pada waktu turbin berputar lebih cepat akan membuat daya yang ditangkap generator juga semakin besar, akan tetapi pada saat turbin berputar menjadi lebih lambat, otomatis nilai daya yang dihasilkan juga ikut mengecil. Kecepatan generator akan dipengaruhi kecepatan turbin berputar dan secara selaras juga berdampak hasil daya pada generator telah diketahui bahwa semakin cepat generator berputar maka daya ikut semakin besar. Prinsip dasarnya adalah menghasilkan listrik berwujud tegangan dan arus akibat konversi energi mekanik berupa baling-baling generator.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pusaran dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Besar Torsi maksimal dihasilkan pada percobaan dengan variasi berjumlah 6 sudu didapat rata-rata terbesar ($0,704 \pm 0,001$) Nm, sedangkan besar torsi terkecil dihasilkan oleh variasi berjumlah 2 sudu yaitu dengan rata-rata nilai ($0,327 \pm 0,001$) Nm.
2. Nilai tertinggi RPM dihasilkan oleh variasi berjumlah 6 sudu didapat rata-rata sebesar ($163,679 \pm 0,001$) rpm sedangkan rpm rata-rata terkecil dihasilkan oleh variasi berjumlah 2 sudu yaitu ($117,174 \pm 0,001$) rpm
3. Besar tegangan rata-rata terbesar yakni ($4,231 \pm 0,038$) V, sedangkan besar tegangan dengan beban terbesar diperoleh rata-rata ($3,353 \pm 0,009$) V dan nilai arus dengan beban terbesar dengan rata-rata ($2,257 \pm 0,009$) mA

5.2. Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan perubahan bentuk *blade*.
2. Membuat basin dengan variasi bentuk basin yang lain.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh besar saluran masuk air dan besar keluaran air pada basin terhadap daya maksimum yang dihasilkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Torque. [khanacademy.org.https://www.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/torque](https://www.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/torque) (diakses 2 maret 2020).
- Desmiwarman dan Yandri, V.R. 2015. Pemilihan Tipe Generator Yang Cocok Untuk PLTMH Desa Guo, Kecamatan Kuranji, Kota Padang. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Vol.04 No. 01
- Dhakil S, dkk. 2015. *Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48 662–669
- Dwiyanto, Very. 2016. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Lampung: Universitas Lampung.
- Giancoli, D.C. 2014. Fisika : Prinsip dan Aplikasi Edisi ke 7 jilid 2. Jakarta: Erlangga
- Hakim, M.F.R dan Adiwibowo, P.H. 2018. Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu. *JTM*. Vol.06 No. 01 Hal.85-95
- Liana, Margiasih P, dkk. 2011. Tetap Pegas (e-book edisi ke-1). Surabaya : Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Pamudji, Nur. 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan SISTEM SUPPLAI AC/DC. Jakarta : PT.PLN (Persero) Jl.Trunojoyo Blok MI/135
- Power C, dkk. 2016. *A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydro power (GVHP). Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 4 No. 2
- Pradana, Adi. 2012 Desain Jarak Stator Dengan Rotor Yang Paling Optimal Pada Generator Magnet Permanen. Surakarta : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Prasetyo, W.D. 2018. Tugas Akhir : Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya. Yogyakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Rohermanto, Agus. 2007. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Vokasi*, Vol.04. No.01 Hal.28-36
- Serway, Raymond A and John W. Jewett.2013.*PHYSICS for Scientist and Engineers with Modern Physics 9th edition*. Boston: Cengage Learning

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Torsi, RPM, Tegangan, Arus dan Daya

$$\Delta T = \sqrt{\frac{N(\sum T^2) - (\sum T)^2}{N(N-1)}}$$

$$\Delta rpm = \sqrt{\frac{N(\sum rpm^2) - (\sum rpm)^2}{N(N-1)}}$$

$$\Delta P = \left| \frac{dP}{dv} \right| |\Delta v| + \left| \frac{dP}{di} \right| |\Delta I|$$

$$\Delta V = \sqrt{\frac{N(\sum V^2) - (\sum V)^2}{N(N-1)}}$$

$$\Delta I = \sqrt{\frac{N(\sum I^2) - (\sum I)^2}{N(N-1)}}$$

Tabel 1. Hasil Pengambilan data torsi (Nm)

Jumlah Sudu	TORSI					
6	0,7012	3	0,5431	2	0,3212	
	0,7022		0,5462		0,3254	
	0,7044		0,5485		0,3276	

0,7066	0,5511	0,3298
0,7088	0,5542	0,3312
0,7012	0,5511	0,3298
0,7022	0,5485	0,3276
0,7044	0,5462	0,3298
0,7066	0,5431	0,3276
0,7088	0,5462	0,3254
0,7012	0,5485	0,3212
0,7022	0,5511	0,3254
0,7044	0,5542	0,3276
0,7012	0,5511	0,3298
0,7022	0,5485	0,3276
0,7044	0,5462	0,3254
0,7066	0,5542	0,3212
0,7088	0,5462	0,3254
0,7066	0,5431	0,3298
0,7044	0,5462	0,3276

Tabel 2. Torsi Hasil Pengukuran

Jumlah Sudu	Torsi (N m)
6	0,704 ± 0,001
3	0,548 ± 0,001
2	0,327 ± 0,001

Tabel 3. Hasil Pengambilan data RPM (rpm)

Jumlah Sudu	RPM

6	163,6721	3	142,235	2	117,1678
	163,6798		143,267		117,1701
	163,6813		143,299		117,1746
	163,6798		143,324		117,1776
	163,6813		143,365		117,1798
	163,6834		143,324		117,1776
	163,6865		143,299		117,1746
	163,6834		143,324		117,1776
	163,6813		142,235		117,1798
	163,6798		143,267		117,1776
	163,6721		143,299		117,1746
	163,6798		143,324		117,1701
	163,6721		143,365		117,1678
	163,6798		143,324		117,1701
	163,6813		143,267		117,1678
	163,6798		142,235		117,1776
	163,6813		143,267		117,1798
	163,6798		143,299		117,1776
	163,6721		143,267		117,1746
	163,6798		142,235		117,1701

Tabel 4. RPM Hasil Pengukuran

Jumlah Sudu	Kecepatan Angular (RPM)
6	$163,679 \pm 0,001$
3	$143,091 \pm 0,098$
2	$117,174 \pm 0,001$

Tabel 5. Hasil Pengambilan data Tegangan (V)

	TEGANGAN (V)
--	--------------

Jumlah Sudu					
6	3	2	3,99	3,54	2,98
			4,13	3,36	2,76
			4,27	3,54	2,98
			4,33	3,78	3,21
			4,57	3,54	2,98
			4,33	3,69	2,76
			4,27	3,78	2,54
			4,13	3,69	2,76
			3,99	3,54	2,98
			4,13	3,36	3,21
			3,99	3,54	2,98
			4,27	3,69	2,76
			4,33	3,78	2,54
			4,57	3,69	2,76
			4,33	3,89	2,54
			4,27	3,78	2,76
			4,33	3,54	2,98
			4,27	3,36	3,21
			3,99	3,54	2,54
			4,13	3,69	2,76

Tabel 6. Tegangan Hasil Pengukuran

Jumlah Sudu	Tegangan (V)
6	$4,231 \pm 0,038$
3	$3,616 \pm 0,034$
2	$2,849 \pm 0,500$

Tabel 7. Hasil Pengambilan data Arus dan Tegangan dengan beban

Jumlah Sudu Turbin	R = 1000 Ω		R = 15000 Ω		R = 20000 Ω		R = 25000 Ω	
	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
6	2,27	2,26	2,86	0,19	3,12	0,16	3,34	0,14
	2,28	2,27	2,87	0,18	3,13	0,18	3,35	0,13
	2,29	2,28	2,88	0,19	3,14	0,15	3,36	0,14
	2,30	2,20	2,89	0,20	3,15	0,17	3,37	0,15
	2,29	2,27	2,88	0,19	3,14	0,18	3,36	0,14
	2,30	2,30	2,87	0,19	3,13	0,17	3,35	0,15
	2,27	2,25	2,86	0,18	3,12	0,15	3,34	0,14
	2,28	2,26	2,87	0,19	3,13	0,15	3,35	0,16
	2,29	2,28	2,88	0,19	3,14	0,18	3,36	0,16
	2,28	2,24	2,87	0,19	3,13	0,17	3,35	0,15
	2,27	2,25	2,88	0,20	3,14	0,16	3,36	0,16
	2,28	2,26	2,87	0,19	3,13	0,16	3,35	0,15
	2,29	2,27	2,86	0,19	3,12	0,15	3,34	0,14
	2,30	2,28	2,87	0,19	3,13	0,18	3,35	0,15
	2,29	2,27	2,88	0,18	3,14	0,17	3,36	0,14
	2,28	2,26	2,89	0,20	3,15	0,18	3,37	0,16
	2,27	2,27	2,88	0,20	3,14	0,16	3,36	0,15
	2,28	2,12	2,87	0,19	3,13	0,15	3,35	0,15
	2,29	2,26	2,86	0,18	3,12	0,15	3,34	0,13
	2,30	2,29	2,87	0,19	3,13	0,16	3,35	0,14
3	2,10	2,00	2,67	0,18	2,98	0,15	3,11	0,13

	2,20	2,20	2,68	0,17	2,99	0,16	3,12	0,12
	2,30	2,20	2,69	0,19	3,01	0,16	3,13	0,13
	2,40	2,40	2,68	0,18	2,99	0,15	3,12	0,13
	2,30	2,10	2,67	0,17	2,98	0,14	3,11	0,12
	2,20	2,30	2,69	0,19	3,01	0,17	3,13	0,13
	2,30	2,20	2,68	0,18	2,99	0,15	3,12	0,13
	2,40	2,30	2,67	0,17	2,98	0,15	3,13	0,13
	2,20	2,50	2,69	0,19	2,97	0,14	3,14	0,14
	2,10	2,20	2,70	0,21	2,98	0,15	3,13	0,13
	2,30	2,30	2,69	0,18	2,99	0,16	3,12	0,13
	2,20	2,10	2,68	0,17	2,98	0,15	3,13	0,14
	2,30	2,30	2,67	0,18	2,97	0,15	3,12	0,13
	2,40	2,40	2,69	0,18	2,98	0,16	3,11	0,12
	2,30	2,40	2,68	0,19	2,99	0,16	3,12	0,12
	2,40	2,50	2,69	0,19	3,01	0,17	3,13	0,13
	2,30	1,90	2,70	0,22	3,00	0,17	3,14	0,14
	2,20	2,10	2,69	0,19	2,98	0,15	3,15	0,14
	2,30	2,30	2,68	0,18	2,97	0,14	3,14	0,13
	2,20	2,10	2,67	0,17	2,98	0,16	3,12	0,12
	2	1,93	1,89	2,32	0,14	2,61	0,12	2,97
	1,94	1,93	2,33	0,14	2,62	0,12	2,98	0,12
	1,95	1,94	2,34	0,16	2,63	0,13	2,99	0,12
	1,94	1,90	2,33	0,14	2,62	0,12	2,98	0,11
	1,95	1,96	2,32	0,13	2,63	0,12	2,97	0,11
	1,96	1,96	2,33	0,15	2,64	0,14	2,96	0,12
	1,95	1,93	2,34	0,15	2,65	0,14	2,95	0,11

1,94	1,93	2,35	0,16	2,64	0,13	2,96	0,12
1,93	1,94	2,34	0,14	2,63	0,12	2,97	0,12
1,94	1,94	2,33	0,15	2,62	0,13	2,98	0,12
1,93	1,93	2,32	0,14	2,61	0,13	2,99	0,13
1,95	1,96	2,33	0,14	2,62	0,12	2,98	0,12
1,94	1,95	2,32	0,15	2,61	0,12	2,97	0,11
1,93	1,91	2,33	0,15	2,63	0,14	2,96	0,11
1,94	1,92	2,34	0,16	2,62	0,13	2,97	0,12
1,93	1,93	2,33	0,15	2,63	0,13	2,98	0,11
1,94	1,94	2,34	0,16	2,64	0,14	2,99	0,12
1,95	1,93	2,35	0,16	2,63	0,14	2,97	0,11
1,94	1,93	2,34	0,15	2,62	0,13	2,96	0,13
1,95	1,96	2,33	0,14	2,64	0,14	2,97	0,13

Tabel 8. Arus dan Tegangan dengan beban Hasil Pengukuran

R (K Ω)	Arus (mA)		
	6 sudu	3 sudu	2 sudu
1	2,257 \pm 0,009	2,240 \pm 0,036	1,934 \pm 0,004
15	0,190 \pm 0,001	0,184 \pm 0,003	0,148 \pm 0,002
20	0,164 \pm 0,003	0,155 \pm 0,002	0,130 \pm 0,002
25	0,147 \pm 0,002	0,130 \pm 0,002	0,118 \pm 0,002
R (K Ω)	Tegangan (V)		
	6	3	2
1 KΩ	2,285 \pm 0,002	2,270 \pm 0,021	1,942 \pm 0,002
15 KΩ	2,873 \pm 0,002	2,683 \pm 0,002	2,333 \pm 0,002
20 KΩ	3,133 \pm 0,002	2,984 \pm 0,003	2,627 \pm 0,003

25 KΩ	$3,353 \pm 0,009$	$3,126 \pm 0,002$	$2,973 \pm 0,079$
--------------------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Tabel 9. Daya yang dihasilkan generator

R (KΩ)	Daya (watt)		
	6	3	2
1 KΩ	$5,157 \pm 0,025$	$5,085 \pm 0,128$	$3,755 \pm 0,012$
15 KΩ	$0,687 \pm 0,005$	$0,494 \pm 0,008$	$0,345 \pm 0,005$
20 KΩ	$0,514 \pm 0,009$	$0,461 \pm 0,007$	$0,340 \pm 0,005$
25 KΩ	$0,491 \pm 0,007$	$0,405 \pm 0,005$	$0,349 \pm 0,014$

Lampiran 2.

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Arya Sula Cakra Buana, dengan nama panggilan Arya atau Asca. Penulis dilahirkan di Nganjuk pada hari Rabu tanggal 21 Mei 1997. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Drs. Waro Goeroeh Samodro (Alm) dan Ir.Hidayatul Nurohmah , MT. dari tiga lelaki bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, TK Pertiwi Kedungmlaten lulus tahun 2003, SDN Kedungmlaten lulus tahun 2009, SMPN 1 Kertosono lulus tahun 2012, SMA Darul'Ulum 2 Jombang lulus tahun 2015. Tahun 2015 masuk ke Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Program Kemitraan Mandiri (PKM). Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Pengalaman Organisasi semasa kuliah yaitu sebagai staff Departemen KWU IFLS ITS tahun 2016, aktif sebagai panitia dalam acara ormawa nasional IFLS tahun 2016 dan 2017. Kerja Praktek penulis dilaksanakan di PT LEN INDUSTRI (Persero). Motto hidup yaitu berusaha menjadi orang beruntung dimanapun berada, dan bersyukur.

E-mail : aryasmp@gmail.com