

PEMANFAATAN PIPA ELBOW SEBAGAI
SUDU TURBIN IMPULS



SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Pendidikan Diploma Empat (D-4) Progran Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

JOY E SITAYANI 442 18 037
LOVEJUWANTRI BATU PAGALLARAN 442 18 038

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls”
oleh Joy E Sitayani NIM 44218037 dan Lovejuwantri Batu Pagallaran NIM
44218038 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 09 September 2022

Pembimbing I,



Ir. Laode Musa, M.T.
NIP. 19601231 199003 1 021

Pembimbing II,



Dr. Jamal, S.T., M.T.
NIP. 19730228 200012 1 002

Mengetahui,



Koordinator Program Studi
D-4 Teknik Pembangkit Energi



Enandra Buana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, tanggal 09 September 2022, tim penguji ujian sidangskripsi telah menerima skripsi mahasiswa: Joy E Sitayani NIM 44218037 dan Lovejuwantri Batu Pagallaran NIM 44218038 dengan Judul "Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls".

Makassar, 09 September 2022

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- | | |
|---|--------------------|
| 1. Dr.Ir.Firman, M.T. | Ketua (.....) |
| 2. Ir. Suryanto, M.Sc.,Ph.D. | Sekretaris (.....) |
| 3. Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si. Ph.D. | Anggota (.....) |
| 4. Nur Rahmah H. Anwar, S.T.,M.T. | Anggota (.....) |
| 5. Ir. Laode Musa, M.T. | Pengarah (.....) |
| 6. Dr. Jamal, S.T., M.T | Pengarah (.....) |

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya layak bagi Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat, taufik, serta hidayah-Nya yang tiada terkira besarnya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls” yang menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, peneliti telah mendapat banyak bimbingan, saran, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan sehingga dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung baik dalam bentuk materi maupun moril;
3. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang;
4. Bapak Rusdi Nur, S.S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang;
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang;
6. Bapak Ir. Laode Musa, M.T. selaku Dosen Pembimbing I;
7. Bapak Dr. Jamal, S.T., M. T. selaku Dosen Pembimbing II;
8. Semua pihak yang telah ikut berpartisipasi hingga selesainya skripsi tugas akhir ini.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. Untuk itu, saran dan masukan yang bersifat membangun sangat peneliti harapkan sebagai pedoman dikemudian hari.

Akhir kata, peneliti berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi semua pihak yang memerlukan.

Makassar, 12 Agustus 2022

Peneliti



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Joy E Sitayani
Nim : 44218037
Program Studi : D-4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat, Tgl. Lahir : Batuisi, 03 Oktober 1999
Alamat : Perumahan Pesona Pelangi blok D2 No.14

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls”

Adalah benar disusun / dibuat oleh kami berdua dan jika kemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggungjawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Makassar, 12 Agustus 2022



Joy E Sitayani

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Lovejuwantri Batu Pagallaran
Nim : 44218038
Program Studi : D-4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat, Tgl. Lahir : Landorundun, 12 Juni 2000
Alamat : Perumahan Puri Yuhana Indah Permai, Yuhana 2 No. 18

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls”

Adalah benar disusun / dibuat oleh kami berdua dan jika kemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat kami pertanggungjawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Makassar, 12 Agustus 2022



Lovejuwantri Batu Pagallaran

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
SURAT PERNYATAAN.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
PEMANFAATAN PIPA ELBOW SEBAGAI SUDU TURBIN IMPULS.....	xvi
RINGKASAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	5
2.2 Turbin Air	6
2.3 Turbin Pelton	10

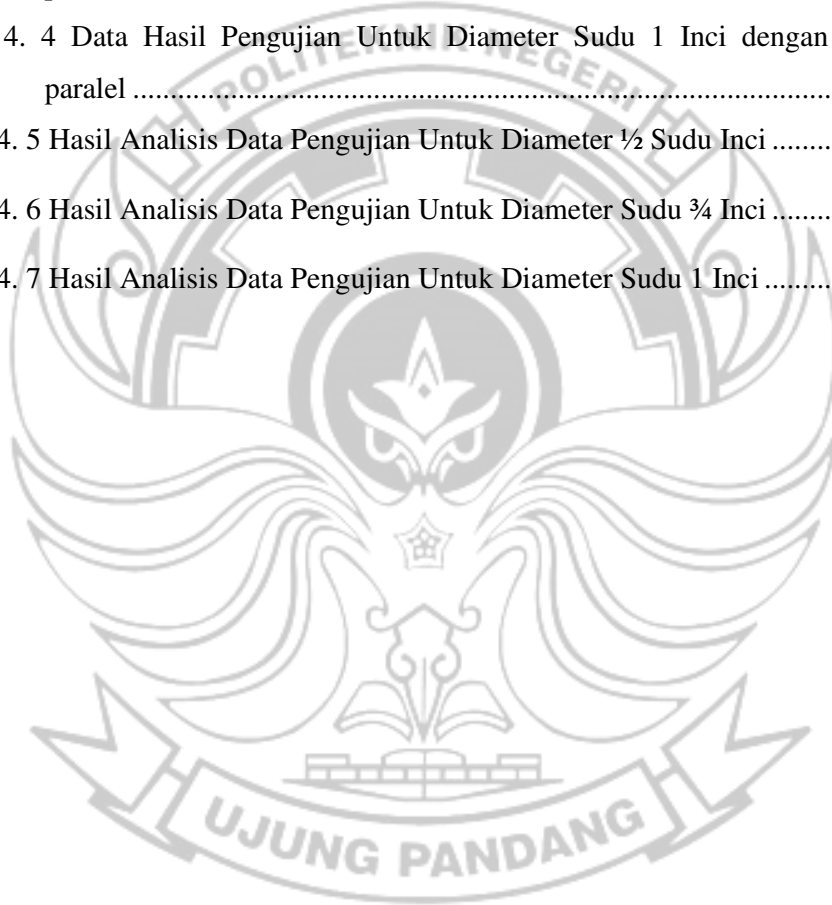
2.4 Prinsip Kerja Turbin Pelton	11
2.5 Segitiga Kecepatan Turbin Pelton	12
2.6 Perkembangan Penelitian Turbin Pelton.....	13
2.7 Komponen-Komponen PLTA.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	18
3.1.1 Tempat Penelitian.....	18
3.3.2 Waktu Penelitian.....	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Prosedur/Langkah Kerja	19
3.3.1 Spesifikasi Peralatan.....	19
3.3.2 Desain Perancangan	20
3.3.3 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.4 Langkah Perakitan Alat.....	26
3.5 Langkah-langkah Pengujian Alat.....	30
3.6 Teknik Analisis Data.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengujian Turbin Impuls	33
4.1.1 Pengujian Tanpa Beban.....	33
4.1.2 Pengujian Berbeban	34
4.2 Analisis Data.....	37
4.2.1 Pengujian Dengan Menggunakan Diameter Sudu ½ Inchi	37
4.2.2 Pengujian Dengan Menggunakan Diameter Sudu ¾ Inchi	39
4.2.3 Pengujian Dengan Menggunakan Diameter Sudu 1 Inchi	41
4.3 Tabel Hasil Analisis Data	44

4.4 Grafik	46
4.4.1 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Tegangan ...	46
4.4.2 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Arus	48
4.4.3 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Putaran Turbin	50
4.4.4 Grafik Hubungan Efisiensi Sistem terhadap Daya Output Listrik	52
4.5 Pembahasan	53
BAB V PENUTUP.....	54
5.1 KESIMPULAN.....	54
5.2 SARAN.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	56



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian.....	33
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu $\frac{1}{2}$ Inchi dengan beban paralel	34
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu $\frac{3}{4}$ Inchi dengan beban paralel	35
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu 1 Inchi dengan beban paralel	36
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter $\frac{1}{2}$ Sudu Inchi	44
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter Sudu $\frac{3}{4}$ Inchi	44
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter Sudu 1 Inchi	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin Pelton.....	7
Gambar 2. 2 Turbin Cross-Flow	8
Gambar 2. 3 Turbin Francis	9
Gambar 2. 4 Turbin Kaplan	9
Gambar 2. 5 Segitiga Kecepatan Turbin Impuls.....	12
Gambar 2. 6 Bendungan.....	15
Gambar 2. 7 Pipa Penstock	15
Gambar 2. 8 Turbin Pelton.....	16
Gambar 2. 9 Sistem Transmisi Mekanik.....	16
Gambar 2. 10 Generator.....	17
Gambar 2. 11 Sistem Transmisi Listrik	17
Gambar 3. 1 Potongan Sudu Turbin.....	20
Gambar 3. 2 Transmisi Mekanik.....	21
Gambar 3. 3 Poros Turbin.....	22
Gambar 3. 4 Instalasi Penelitian 3 Dimensi.....	23
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. 6 Perakitan Turbin Pelton.....	26
Gambar 3. 7 Instalasi Penelitian Tampak Samping	27
Gambar 3. 8 Instalasi Penelitian Tampak Atas	28
Gambar 3. 9 Instalasi Penelitian Tampak Depan	29
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Tegangan	46
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Arus	48

Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Putaran Turbin..... 50

Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Efisiensi Sistem terhadap jumlah Bohlam 52



DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
P_{in}	W	Daya input
\dot{m}	kg/s	Laju Aliran Massa
v	m/s	Kecepatan Aliran Air
ρ_{air}	kg/m ³	Massa jenis air
Q	m ³ /s	Debit air
V	m ³	Volume tangki penampung
T	S	Waktu
P_L	W	Daya output listrik
V	V	Tegangan
I	A	Arus
η_s	%	Efisiensi sistem
D, d	m ²	Diameter celah nosel
V	m/s	Kecepatan absolut air pancaran nosel
V_f	m/s	Kecepatan relatif
U	m/s	Kecepatan tangensial sudu
W	m/s	Kecepatan relatif keluar dari sudu

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Hasil Pengujian	59
Lampiran 2 Tabel Hasil Analisis Data	63
Lampiran 3 Dokumentasi	65



PEMANFAATAN PIPA ELBOW SEBAGAI SUDU TURBIN IMPULS

RINGKASAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pada pembangkit tenaga listrik. Maka dari itu diperlukan suatu alat yang dapat dimanfaatkan untuk mengkonversikan energi air tersebut menjadi energi listrik, salah satunya adalah turbin. Turbin merupakan suatu alat yang memanfaatkan energi aliran fluida menjadi energi mekanik kemudian dikonversikan menjadi energi listrik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang suatu model turbin pelton dengan menggunakan sudu turbin dari pipa elbow 90° dengan memvariasikan diameter sudu turbin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, metode perancangan, metode pembuatan, metode pengujian, dan metode analisis data.

Berdasarkan hasil pengujian pada percobaan tanpa beban untuk diameter sudu turbin ½ inci menghasilkan putaran sebesar 640 rpm, untuk diameter sudu turbin ¾ inci menghasilkan putaran sebesar 573 rpm, dan untuk diameter sudu turbin 1 inci menghasilkan putaran sebesar 550 rpm. Sedangkan pada pengujian putaran turbin berbeban untuk diameter sudu ½ inci diperoleh putaran antara 228 rpm – 279 rpm, daya listrik maksimum 1,756 watt dengan efisiensi sistem 37,91%, untuk diameter sudu ¾ inci diperoleh putaran antara 243 rpm – 300 rpm, daya listrik maksimum 2,765 watt dengan efisiensi sistem 62,10%, dan untuk diameter sudu 1 inci diperoleh putaran antara 236 rpm – 350 rpm, daya listrik maksimum 2,692 watt dengan efisiensi sistem 60,45%.

Kata kunci : turbin pelton, diameter sudu



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi merupakan sesuatu yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia saat ini. Namun ketersediaan energi yang ada sangat terbatas jumlahnya, untuk itu pemanfaatan sumber daya energi yang bersifat terbarukan menjadi suatu alternatif yang harus dikembangkan guna memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Energi listrik dapat dihasilkan oleh beberapa tenaga pembangkit yaitu pembangkit tenaga air, pembangkit tenaga panas bumi, pembangkit tenaga angin, pembangkit tenaga surya serta pembangkit tenaga reaktor nuklir

Dilihat dari keadaan geografis daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi air yang memadai untuk perkembangan pembangkitan tenaga listrik maka sangat dibutuhkan juga ide-ide dalam menciptakan alat pembangkit listrik yang dapat dijadikan acuan oleh masyarakat serta dapat dimanfaatkan dalam skala besar terkhusus masyarakat pelosok yang minim pengetahuan akan sistem pembangkit sederhana. Adapun jenis turbin yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air terdiri dari dua macam yakni turbin impuls dan turbin reaksi.

Turbin impuls adalah turbin air dengan prinsip kerja mengubah energi air menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air yang keluar dari nosel mempunyai kecepatan tinggi dan diarahkan menabrak sudu turbin yang akan mengakibatkan perubahan momentum sehingga terjadi putaran pada poros turbin, seperti turbin pelton dan turbin crossflow. Turbin reaksi adalah turbin air dengan prinsip kerja mengubah

seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir dalam bentuk putaran, seperti turbin francis dan turbin kaplan.

Ketersediaan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia haruslah juga didukung dengan pengembangan sumber daya manusia yang harus ditingkatkan guna menciptakan kemajuan teknologi terkhusus dalam bidang pembangkitan listrik. Adanya pengetahuan yang cukup maka dapat dipastikan bahwa pembuatan turbin yang selama ini terkesan sulit dimata masyarakat umum dapat diatasi dengan menggunakan bahan yang mudah didapat dipasaran.

Penelitian turbin pelton telah dilakukan oleh Ferdinandus Balu Zei (2016) yang meneliti karakteristik daya dari turbin pelton dengan variasi bentuk sudu dengan menggunakan pipa elbow 90° dengan diameter $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ inci. Keistimewaan dari penelitian ini terdapat pada pemanfaatan pipa elbow sebagai sudu-sudu turbin. Sudu-sudu yang terbuat dari pipa elbow dapat dipasang pada piringan dan membentuk runner turbin.

Penelitian turbin pelton masih sangat perlu untuk dilanjutkan guna mendapatkan berbagai jenis, bentuk, dan model turbin pelton agar dapat dimanfaatkan dengan baik untuk memperoleh kinerja yang lebih optimal.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian untuk melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dalam penyusunan penelitian ini peneliti merumuskan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana kinerja turbin impuls menggunakan sudu dari pipa elbow 90°?
- 2) Bagaimana kinerja turbin impuls dengan variasi diameter sudu 1/2 inci, 3/4 inci, dan 1 inci?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini hanya difokuskan pada turbin impuls dengan acuan turbin pelton.
- 2) Sudu turbin yang digunakan terbuat dari pipa elbow 90° dengan diameter 1/2 inci, 3/4 inci, dan 1 inci.
- 3) Penelitian yang dilakukan adalah penelitian skala Laboratorium.
- 4) Penelitian dilakukan di Lab Energi Alternatif Prodi D4 Teknik Pembangkit Energi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai berdasarkan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui kinerja turbin impuls menggunakan sudu dari pipa elbow 90°.
- 2) Mengetahui kinerja turbin impuls dengan variasi diameter sudu 1/2 inci, 3/4 inci, dan 1 inci.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang akan dicapai berdasarkan tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menerapkan ilmu yang diperoleh di bangku kuliah khususnya bidang turbin yang mudah dirancang dan memberikan pengetahuan tentang perancangan turbin impuls kepada masyarakat umum terkhusus pada daerah pelosok yang memiliki potensi aliran air yang memadai dengan menggunakan bahan yang banyak dipasaran serta menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air atau yang biasa dikenal dengan PLTA adalah salah satu jenis sumber energi mekanik yang pertama yang digunakan oleh manusia. PLTA juga merupakan salah satu sumber daya energi khususnya energi terbarukan yang paling banyak digunakan di dunia. Penggunaan energi mekanik dari turbin untuk menggerakkan pabrik dan menggiling gandum dan keperluan lainnya dikenal di negara China selama abad ke-1. Pembangkit listrik tenaga air merupakan salah satu bentuk sumber daya energi terbarukan yang bersumber dari tenaga air. Tentunya tenaga air yang bisa dimanfaatkan yaitu air yang mengalir atau air terjun, karena didalam air yang mengalir atau air terjun terdapat sumber energi yang dapat dikonversi menjadi bentuk energi yang lainnya seperti energi mekanik dan energi listrik (Mafrudin dan Dwi Irawan, 2020:4).

Pembangkit listrik tenaga air merupakan suatu pembangkit yang memanfaatkan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah, dalam hal ini air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa energi potensial berangsur-angsur menjadi energi kinetik. Di dalam energi kinetik air diubah menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin (Ismail Hasan dan A. Ashadi. Z, 2003:10-11).

Sistem kerja PLTA adalah mengubah energy potensial air yang telah ditampung di waduk menjadi energy kinetic dengan cara mengalirkan air melalui

pipa pesat (penstock). Kemudian air yang telah dipercepat tersebut akan digunakan untuk memutar turbin (Lukas dkk, 2017: 17)

Berdasarkan kutipan diatas, diperoleh pengertian pembangkit listrik tenaga air merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik dan banyak lagi.

2.2 Turbin Air

Turbin air merupakan turbin dengan air sebagai fluida kerjanya. Sifat air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah yang membuatnya memiliki energi potensial. Proses aliran di dalam pipa energi potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar turbin (Abdul Muis, 2010). Sularso dan Haruo (1983) dalam skripsi Rama Setiamanda Hendarto Putra Giri (2021:4) menyatakan bahwa turbin air merupakan turbin yang memanfaatkan fluida kerja air yang berfungsi untuk mengubah energi potensial dari air menjadi energi kinetik ketika air mengalir di dalam pipa. Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin.

Susaty, Anjar (2006) dalam skripsi Rama Setiamanda Hendarto Putra Giri (2021:4) menyatakan bahwa menurut sejarahnya turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air yang sekarang berasal dari kincir-kincir air pada zaman abad pertengahan yang dipakai untuk memecah batubara dan pabrik gandum. Salah satu kincir air tersebut dapat dilihat di Aungrabad, India yang telah berumur 400-an tahun.

Abdul Muis (2010) menyatakan bahwa secara umum turbin air dapat digolongkan dalam dua golongan utama berdasarkan prinsip perubahan momentum fluida kerjanya yaitu:

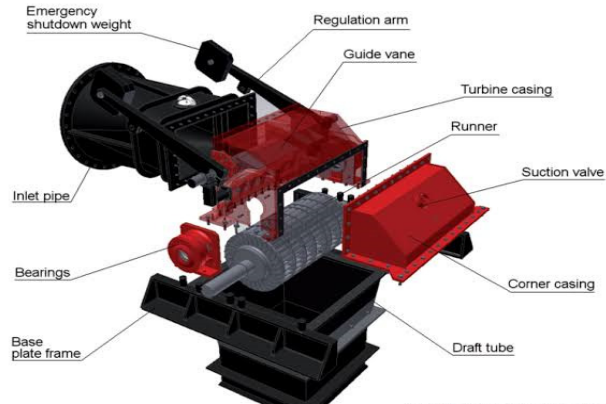
- 1) Turbin impuls pada prinsipnya semua energi potensial air pada turbin ini diubah menjadi energi kinetik sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah energi potensial menjadi kecepatan yang disebut nosel, yang termasuk jenis turbin ini adalah turbin pelton dan turbin cross-flow.
 - a) Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang prinsip kerjanya mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dalam bentuk pancaran air yang keluar dari mulut nosel diterima oleh sudu-sudu turbin sehingga turbin dapat berputar.



Gambar 2. 1 Turbin Pelton
Sumber: www.de.123rf.com

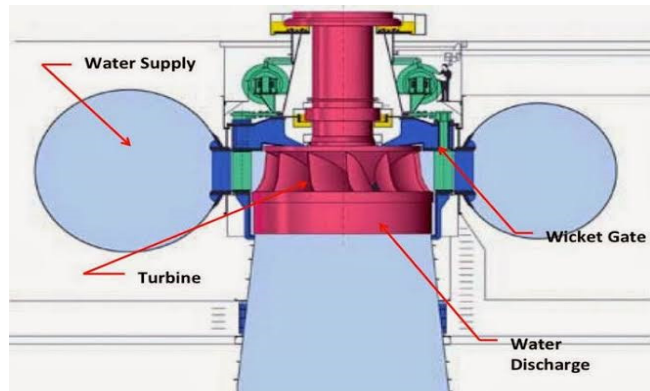
- b) Turbin Cross-Flow merupakan turbin radial bertekanan kecil dengan injeksi tangensial dari putaran sudu turbin yang memiliki poros horizontal dengan prinsip kerja memanfaatkan pipa pengarah aliran yang bertujuan

untuk memutar turbin dengan aliran air yang diatur untuk menabrak sudu turbin.



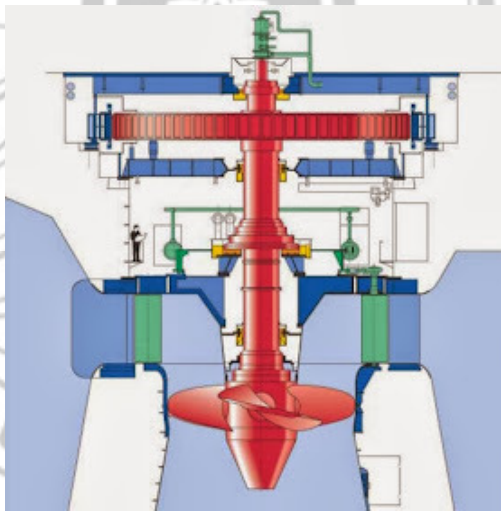
Gambar 2. 2 Turbin Cross-Flow
Sumber: www.cink-hydro-energi.com

- 2) Turbin reaksi pada prinsipnya seluruh energi potensial dari air diubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk turbin reaksi adalah turbin francis, turbin kaplan.
 - a) Turbin Francis merupakan turbin jenis reaksi yang bekerja karena tekanan pada roda turbin yang mengakibatkan roda turbin berputar dimana aliran air melalui rumah keong yang diarahkan dengan sudu pengarah menuju sudu jalan dari roda turbin.



Gambar 2. 3 Turbin Francis
 Sumber: www.belajardiesel.blogspot.com

- b) Turbin Kaplan merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeler seperti pada baling-baling perahu. Propeler tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu.



Gambar 2. 4 Turbin Kaplan
 Sumber: www.belajardiesel.blogspot.com

Adapun pengertian turbin air merupakan turbin yang memanfaatkan fluida air sebagai fluida kerja yang mengalami perubahan energi potensial menjadi energi

kinetik dan saat menabrak sudu turbin maka berubah menjadi energi mekanik yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik.

2.3 Turbin Pelton

Turbin pelton pertama kali ditemukan oleh insinyur dari Amerika yaitu Lester A. Pelton pada tahun 1880. Turbin ini dioperasikan pada *head* sampai 1800 m, dimana turbin ini relatif membutuhkan jumlah air yang lebih sedikit dan biasanya porosnya dalam posisi mendatar (skripsi Azmi, 2019:11).

Turbin Pelton merupakan salah satu dari jenis turbin air khususnya turbin impuls yang paling efisien jika dibandingkan dengan turbin implus lainnya. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan atau runner yang diputar oleh semburan air yang disemprotkan melalui satu atau beberapa nosel (Mafrudin dan Dwi Irawan, 2020:31).

Sunarto Edi dan Eisenring M (2000) dalam skripsi Achmad Afrizal Iskandar dan Muh Try Fadel Kahar (2014:7) menyatakan bahwa turbin pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan (jet) air dengan kecepatan tinggi mengenai bucket runner dan menggerakkan runner air keluar pada kecepatan rendah, yang berarti sebagian energinya tidak diserap oleh runner. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer. Turbin pelton adalah contoh terbaik dari turbin impuls yang dioperasikan oleh satu atau lebih jet (nosel) air yang masuk ke center bucket pada sekeliling parameter dari runner. Tenaga berasal dari gaya air dari tekanan tinggi yang menumbuk buckets sehingga diberi nama impuls turbin.

Turbin pelton merupakan jenis turbin impuls yang memanfaatkan pancaran air bertekanan dari nosel untuk menabrak bucket runner (sudu-sudu turbin) yang disusun teratur dengan tujuan untuk memutar turbin.

2.4 Prinsip Kerja Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang prinsip kerjanya mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dalam bentuk pancaran air. Pancaran air yang keluar dari mulut nosel diterima oleh sudu-sudu pada runner sehingga runner dapat berputar (Rama Setiamanda Hendarto Putra Giri, 2021:6).

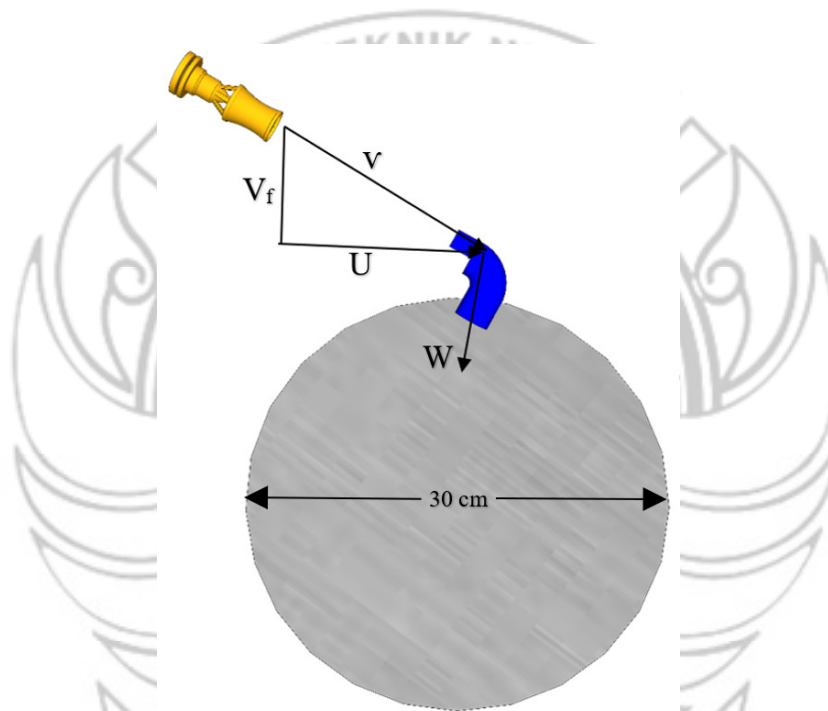
Agu (2009) dalam skripsi Achmad Afrizal Iskandar dan Muh Try Fadel Kahar (2014:17) menyatakan bahwa turbin pelton bekerja dengan prinsip mengubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis. Air digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang terhubung dengan poros turbin, sehingga poros turbin menghasilkan gaya putar. Turbin pelton merupakan suatu alat yang mengubah energi kinetik dan energi potensial dari air menjadi energi gerak rotasi pada poros turbin. Pada prinsipnya turbin pelton terdiri dari ember (bucket) yang dipasang secara seragam. Pancaran yang keluar dari nosel terbagi oleh ember menjadi dua bagian dan meninggalkan ember dengan cara dibelokkan melalui sudut yang hampir 180° . Reaksi impuls menghasilkan suatu momen puntir pada poros sudu yang menyebabkan runner berputar dan terus berputar selama ada pancaran yang datang menerjang ember.

Adapun prinsip kerja dari turbin pelton yakni mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik turbin dengan memanfaatkan pancaran air dari nosel yang

menabrak sudu-sudu turbin sehingga tercipta rotasi putaran pada poros turbin selama pancaran air terus menabrak sudu-sudu turbin.

2.5 Segitiga Kecepatan Turbin Pelton

Segitiga kecepatan turbin pelton merupakan sebuah dasar kinematika dari aliran fluida yang menabrak sudu turbin.



Gambar 2. 5 Segitiga Kecepatan Turbin Impuls

Dimana:

v = kecepatan absolut air pancaran nosel (m/s)

V_f = kecepatan relatif (m/s)

U = kecepatan tangensial sudu (m/s)

W = kecepatan relatif air keluar dari sudu (m/s)

Kecepatan absolut fluida yang masuk kedalam sistem turbin akan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan relatif fluida yang keluar dari sistem turbin, hal ini disebabkan oleh adanya perubahan energi kinetik fluida yang menabrak sudu diubah menjadi energi kinetik sudu yang terdorong oleh pancaran air.

2.6 Perkembangan Penelitian Turbin Pelton

Samsul kamal dan Prajitno (2013) dalam penelitiannya tentang “Evaluasi Unjuk Kinerja Turbin Air Pelton Terbuat Dari Kayu dan Bambu Sebagai Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Untuk Pedesaan” diperoleh efisiensi total sebesar 28% pada debit aliran air sebesar 28 L/detik , tinggi jatuh efektif sebesar 7 m dan beban 300 watt.

Achmad Afrizal Iskandar dan Muh Try Fadel Kahar dalam penelitiannya pada tahun (2014) tentang “Pembuatan Prototype Turbin Pelton Dengan Pipa Galvanis diameter $\frac{1}{2}$ inci Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro” diperoleh kinerja turbin sebesar 0,11% dengan ukuran nosel 1,3 cm, kemudian 0,83% dengan ukuran nosel 0,8 cm, serta 5,55% dengan ukuran nosel 0,6 cm.

Ferdinandus Balu Zei (2016) dalam penelitiannya tentang “Karakteristik Daya Turbin Pelton Skala Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu Pipa Elbow Dengan Diameter $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ inci” diperoleh hasil daya tertinggi didapatkan pada sudu turbin dengan jumlah sudu 12 berdiameter $\frac{1}{2}$ inci yaitu daya yang dihasilkan 1,938 watt dengan putaran 560 rpm dengan efisiensi turbin sebesar 0,018176%.

Ahmad Yani dkk (2020) dalam penelitiannya tentang “Blade shape analysis on The Performance of The Pelton Turbine Prototype” diperoleh daya turbin maksimal sebesar 99,141 watt dengan efisiensi maksimal turbin sebesar 25,512%.

Niharman dkk (2021) dalam penelitiannya tentang “Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Dengan Tekanan Konstan” diperoleh efisiensi 71% dengan jumlah sudu 9 pada putaran 698,2 rpm sedangkan pada jumlah sudu 12 pada putaran 714,5 rpm diperoleh efisiensi sebesar 79%.

Rama Setiamanda Hendarto Putra Giri (2021) dalam penelitiannya tentang “Pengaruh Variasi Diameter Nosel Terhadap Efisiensi Turbin Air Pelton” diperoleh hasil pengujian variasi diameter nosel dengan tinggi jatuh air (H) 12 m dan debit air (Q) 0,009 m³/s mendapatkan torsi, daya turbin, dan efisiensi terbaik berdasarkan diameter nosel 8 mm yaitu torsi 18791 Nm, daya turbin 154462 watt, serta efisiensi terbesar pada nilai 41 %.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas yang merupakan bagian dari literatur yang menjadi acuan kami dalam membuat penelitian ini, maka kami memutuskan untuk membuat penelitian yaitu pemanfaatan pipa elbow sebagai sudu turbin impuls dengan tujuan untuk menambah dan mengembangkan pengetahuan serta wawasan bagi masyarakat umum mengenai turbin pelton yang mudah untuk dibuat dengan ketersediaan bahan yang mudah ditemukan dipasaran.

2.7 Komponen-Komponen PLTA

PLTA yang menggunakan Turbin Pelton terdiri dari beberapa komponen utamanya antara lain sebagai berikut.

1) Bendungan

Bendungan berfungsi sebagai tempat penampungan air dalam jumlah besar.

Air ini yang akan menggerakkan turbin.



Gambar 2. 6 Bendungan

Sumber: www.mufidtaufan.wordpress.com

2) Pipa Pesat (Penstock)

Pipa penstock berfungsi mengalirkan dan mengarahkan air dari waduk menuju turbin.



Gambar 2. 7 Pipa Penstock

Sumber: www.elnimo-series.blogspot.com

3) Turbin Pelton

Turbin pelton berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi gerak/mekanik.



Gambar 2. 8 Turbin Pelton
Sumber: www.gwtelfs.at/funktion-von-turbinen.html

4) Sistem Transmisi Mekanik

Sistem transmisi mekanik berfungsi meneruskan putaran dari poros turbin ke poros generator.



Gambar 2. 9 Sistem Transmisi Mekanik
Sumber: www.aank123.wordpress.com

5) Generator

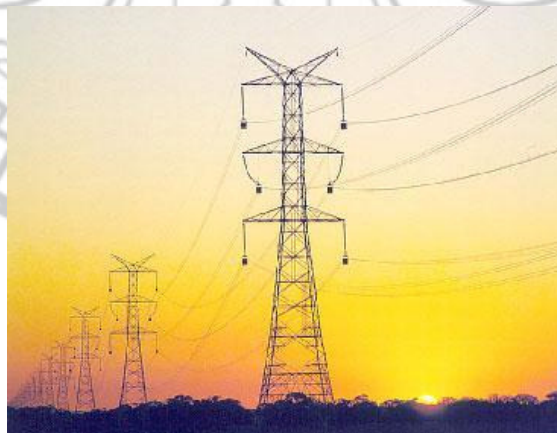
Generator berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.



Gambar 2. 10 Generator
Sumber: www.dein.co.id

6) Sistem Transmisi Listrik

Sistem transmisi mekanik berfungsi menyalurkan energi listrik ke konsumen.



Gambar 2. 11 Sistem Transmisi Listrik
Sumber: www.docplayer.info

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Lokasi perancangan dan pengujian penelitian “Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls” ini dilaksanakan di Politeknik Negeri Ujung Pandang pada laboratorium energi alternatif, laboratorium sistem energi dan bengkel mekanik.

3.3.2 Waktu Penelitian

Waktu perancangan dan pengujian penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Maret sampai dengan bulan Juli 2022.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- a) Alat
 - 1. Las
 - 2. Gurinda
 - 3. Kunci pas baut
 - 4. Amperemeter
 - 5. Voltmeter
 - 6. Tachometer
 - 7. Stopwatch

b) Bahan

1. Elbow pipa
2. Nosel
3. *Belt*
4. *Pulley*
5. Rangka besi
6. Kontainer penampung air
7. Pompa
8. Pipa
9. Generator kecil
10. *Acrylic*

3.3 Prosedur/Langkah Kerja

3.3.1 Spesifikasi Peralatan

Tabel 3. 1 Spesifikasi Pompa

Model		PC-375 BIT
U : 1 X 220 V ~	50 Hz	Pipa Hisap : 32 mm (1 1/4")
20 μ f / 450 V ~	I : 2.9 A	Pipa Tekan : 25mm (1")
n : 2900 min ⁻¹	IPX4	Pipa Dorong : 25 mm (1")
H (meter) : 44 – 32		Q (min): 11 – 25
Temperatur Air : Maks, 40 °C		Total Head: 80 Meter
Kapasitas Maksimal 80liter/menit		
Pressure Switch	On	1.4 kgf/cm ³
	Off	2.8 kgf/cm ³
Daya Pompa	375 Watt	
Motor Dilengkapi Thermal Protetor		
MADE IN Indonesia		

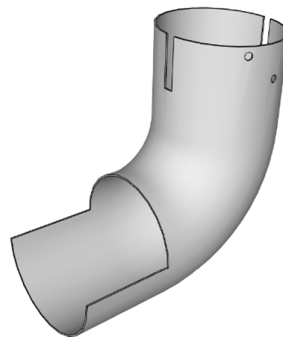
Tabel 3. 2 Spesifikasi Generator

Generator Listrik DC 24 Volt	
Panjang	:11 cm
Lebar	: 8 cm
Diameter ass/sef	: 8 mm
Output	: 24 V -100 V
Arus Output	: 2 A -3 A
Putaran Stabil	: 500 rpm - 1000 rpm
Daya Output	: 200 Watt / 3000 rpm
Tegangan Output	65 V - 80 V

3.3.2 Desain Perancangan

Adapun bagian-bagian dari desain perancangan terbagi dua yaitu:

a) Pembuatan Sudu Turbin

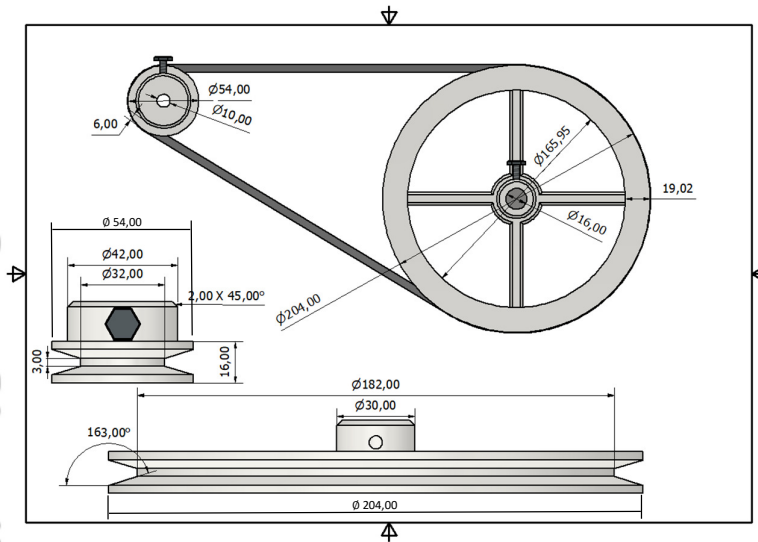


Gambar 3. 1 Potongan Sudu Turbin

Sudu turbin yang dirancang berbahan dasar pipa galvanis elbow 90°. Adapun diameter sudu yang akan digunakan adalah ½ inci, ¾ inci, dan 1 inci. Untuk rincian model pemotongan sudu turbin dapat dilihat pada gambar 3.1

diatas. Adapun jumlah sudu yang digunakan sebanyak 15 buah untuk setiap diameter sudu. Perbandingan diameter sudu yang akan kami gunakan bertujuan untuk mendapatkan perbedaan output yang dapat dijadikan perbandingan penelitian.

b) Transmisi Mekanik



Gambar 3. 2 Transmisi Mekanik

Adapun untuk perhitungan transmisi adalah sebagai berikut.

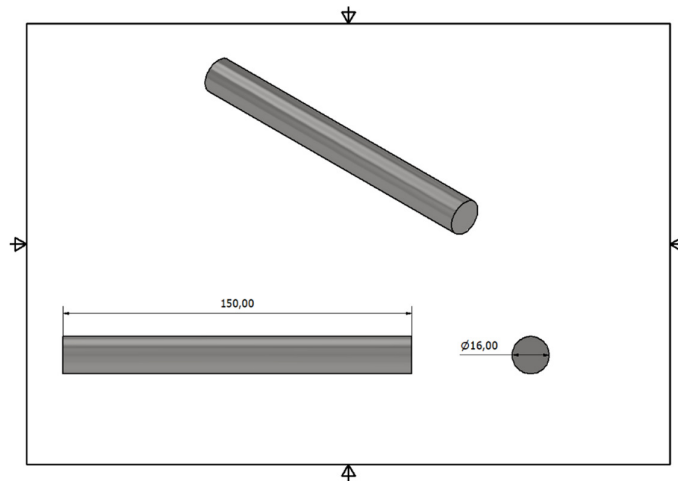
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{d_1 \times n_1}{d_2} = \frac{20 \text{ cm} \times 279 \text{ rpm}}{5 \text{ cm}}$$

$$n_2 = 1116 \text{ rpm}$$

c) Penentuan Poros Turbin

Poros turbin yang digunakan berbahan dasar besi bulat dengan perhitungan menggunakan persamaan:



Gambar 3. 3 Poros Turbin

Adapun untuk perhitungan poros adalah sebagai berikut.

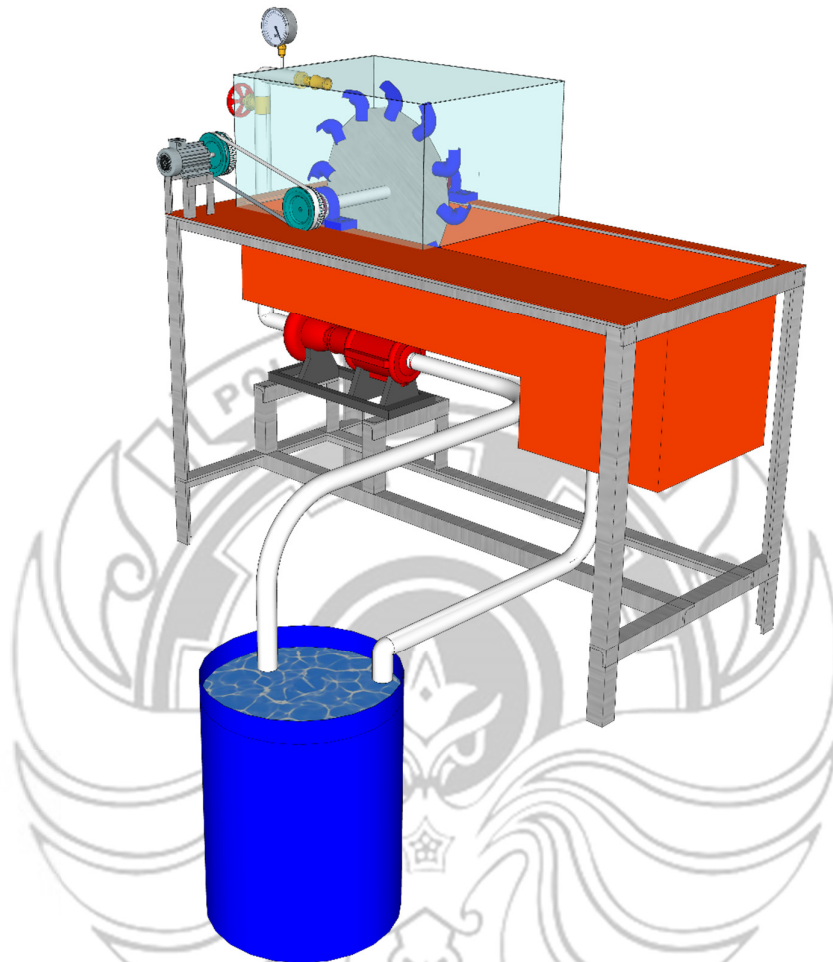
- Faktor koreksi (f_c) = 1,2 yang diambil dalam perencanaan.
- Daya rencana (P_d) = $P \times f_c = 1 \text{ kW} \times 1,2 = 1,2 \text{ kW}$
- Momen puntir (T) = $9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n_2}$

$$= 9,74 \times 10^5 \times \frac{1,2 \text{ kW}}{1116 \text{ rpm}} = 1047,312 \text{ kg.mm}$$
- Dalam perencanaan ini menggunakan bahan poros baja St. 41 dengan kekuatan tarik (θ_A) = $44,5 \text{ kg/mm}^2$ dan faktor keamanan $Sf_1 = 6,0$ dan $Sf_2 = 2,0$
- Tegangan geser (τ_α) = $\frac{\theta_A}{Sf_1 \times Sf_2} = \frac{44,5 \text{ kg/mm}^2}{6,0 \times 2,0} = 3,70 \text{ kg/mm}^2$
- Faktor koreksi untuk momen puntir (K_t) = 1,5, faktor lenturan (C_b) = 2,0
- Diameter poros (d_s) = $\left(\frac{5,1}{\tau_\alpha} \times K_t \times C_b \times T\right)^{\frac{1}{3}}$

$$= \left(\frac{5,1}{3,70} \times 1,5 \times 2,0 \times 1047,312\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 16 \text{ mm}$$

d) Prinsip Kerja Sistem Uji



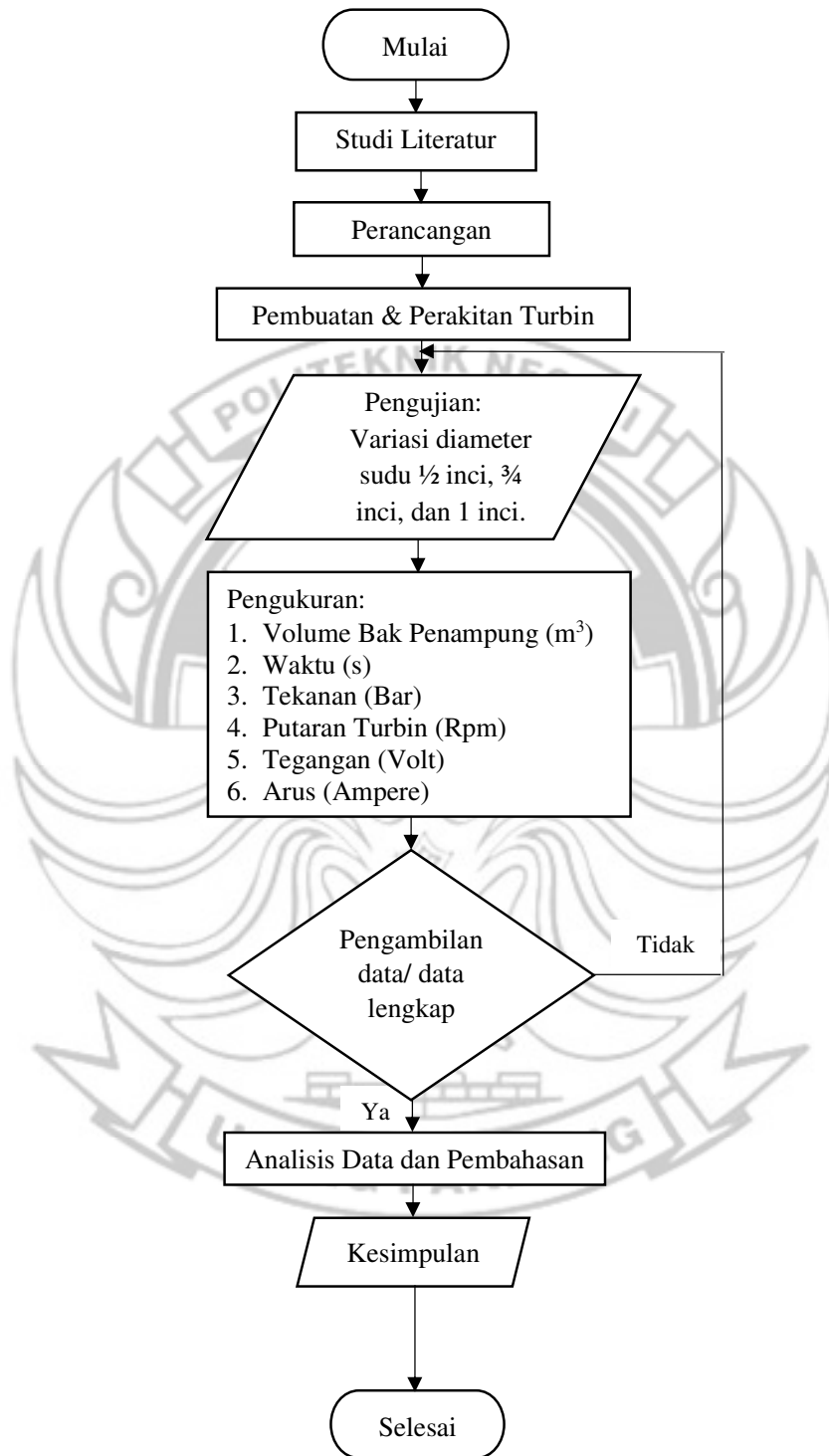
Gambar 3. 4 Instalasi Penelitian 3 Dimensi

Adapun sistem ini terdiri dari: bak penampung, pompa, nosel, turbin, dan generator. Prinsip kerja dari sistem uji ini yaitu air dari penampung akan dialirkan ke nosel menggunakan pompa. Air akan disemprotkan oleh nosel untuk menabrak sudu-sudu turbin sehingga turbin akan berputar. Kemudian poros turbin akan dihubungkan ke generator untuk membangkitkan listrik. Air yang keluar dari sudu-sudu turbin akan kembali ke bak penampung.

Turbin yang akan dibuat berjumlah 3 buah, yang terdiri dari masing-masing diameter sudu turbin $\frac{1}{2}$ inci, $\frac{3}{4}$ inci, dan 1 inci dengan jumlah sudu turbin 15 buah untuk masing-masing turbin.



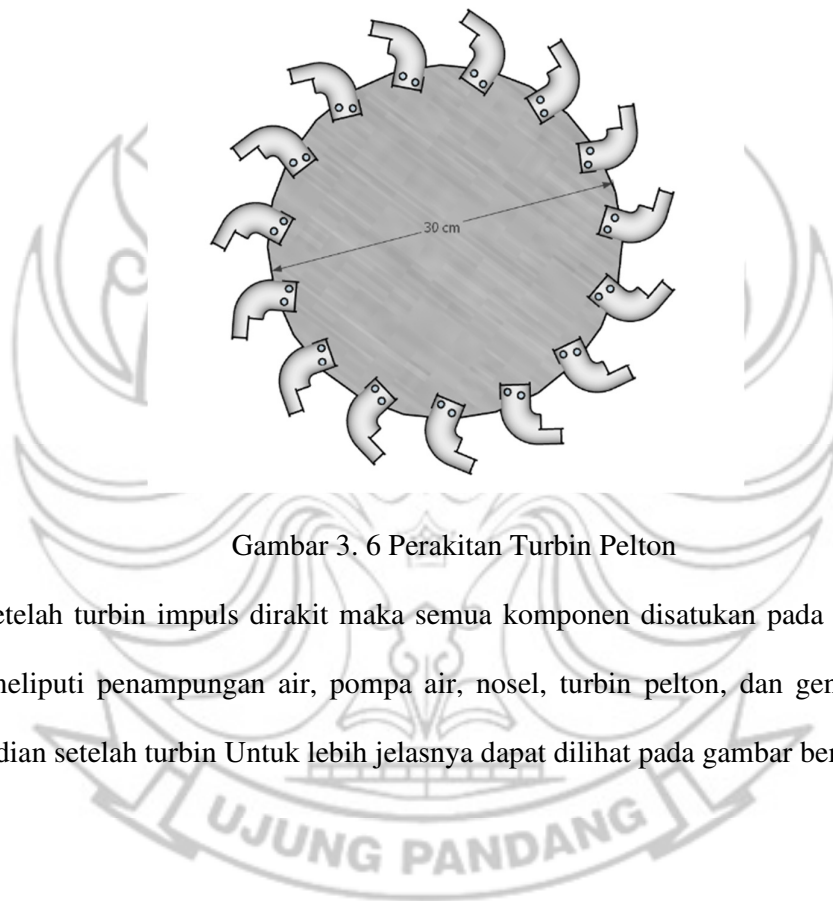
3.3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian

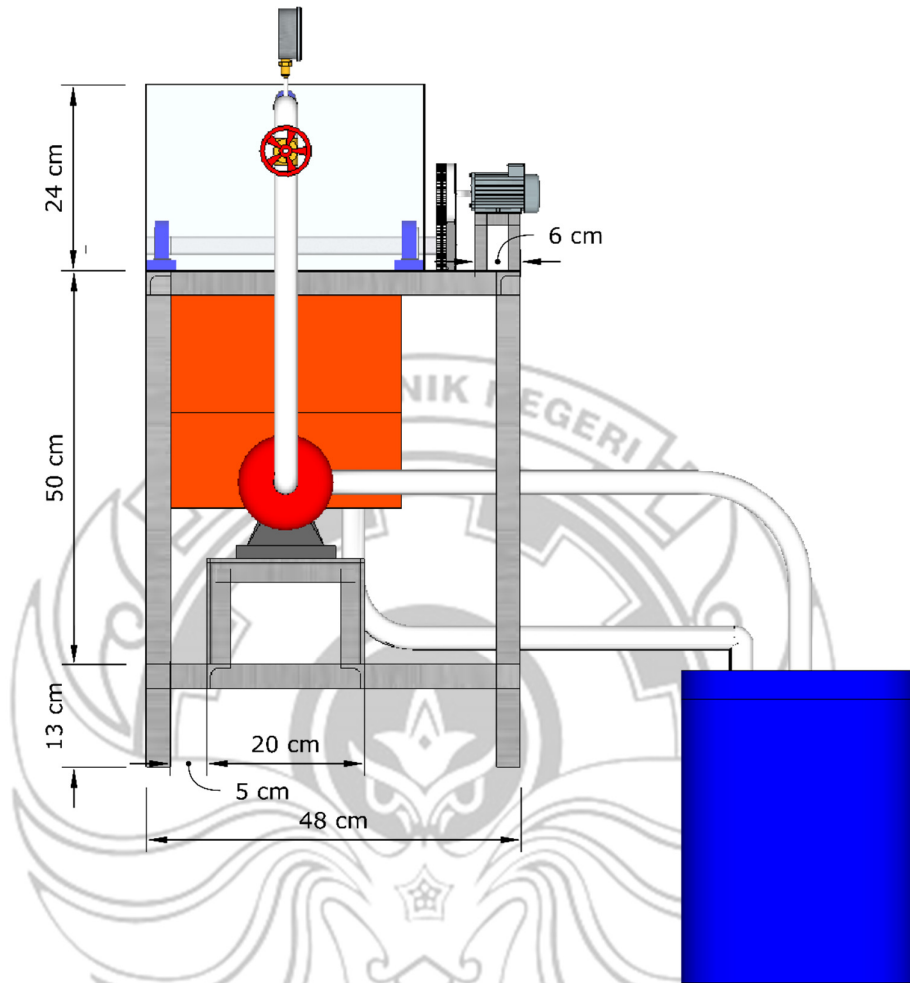
3.4 Langkah Perakitan Alat

Perakitan alat merupakan proses menyatukan setiap komponen yang ada hingga membentuk sebuah alat yang utuh. Penelitian ini mula-mula dilakukan perakitan turbin yakni memasang sudu turbin dari pipa elbow berjumlah 15 buah pada plat potongan bundar dengan diameter 30 cm.

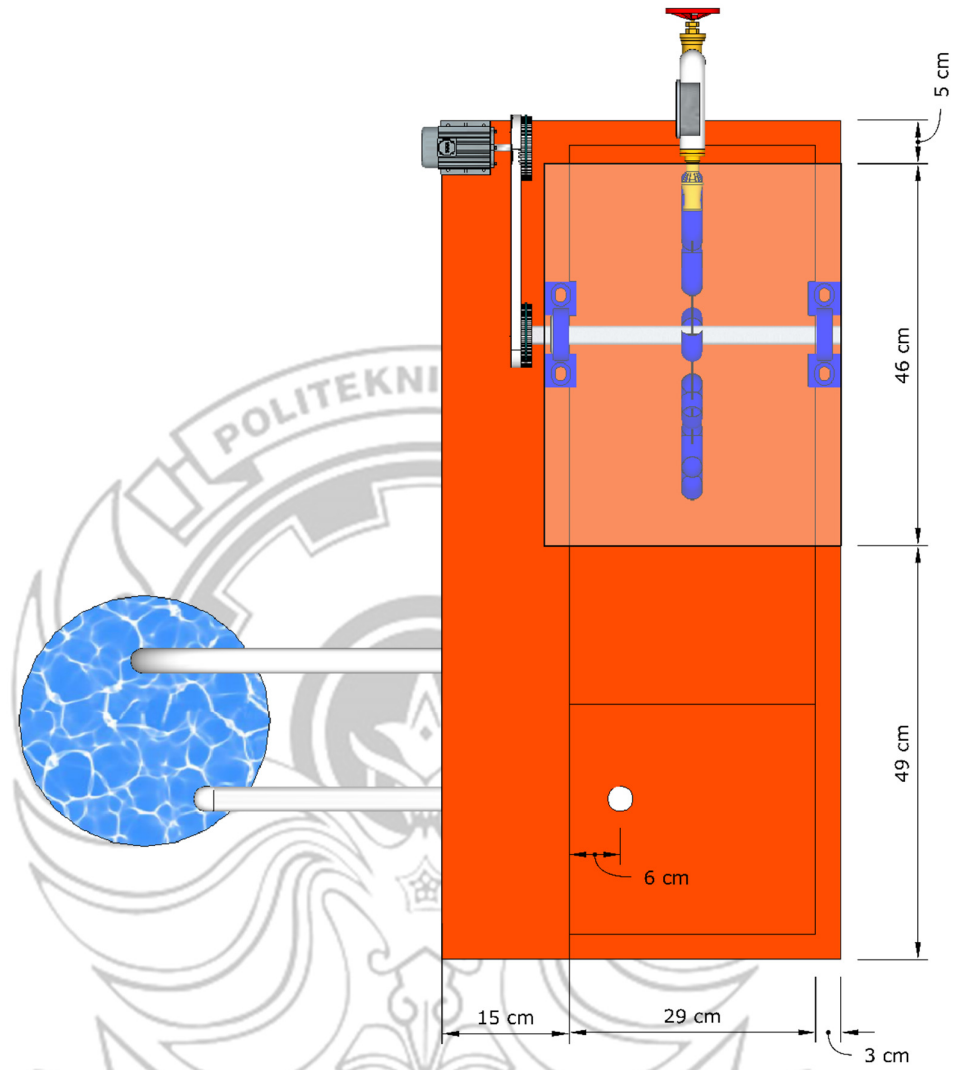


Gambar 3. 6 Perakitan Turbin Pelton

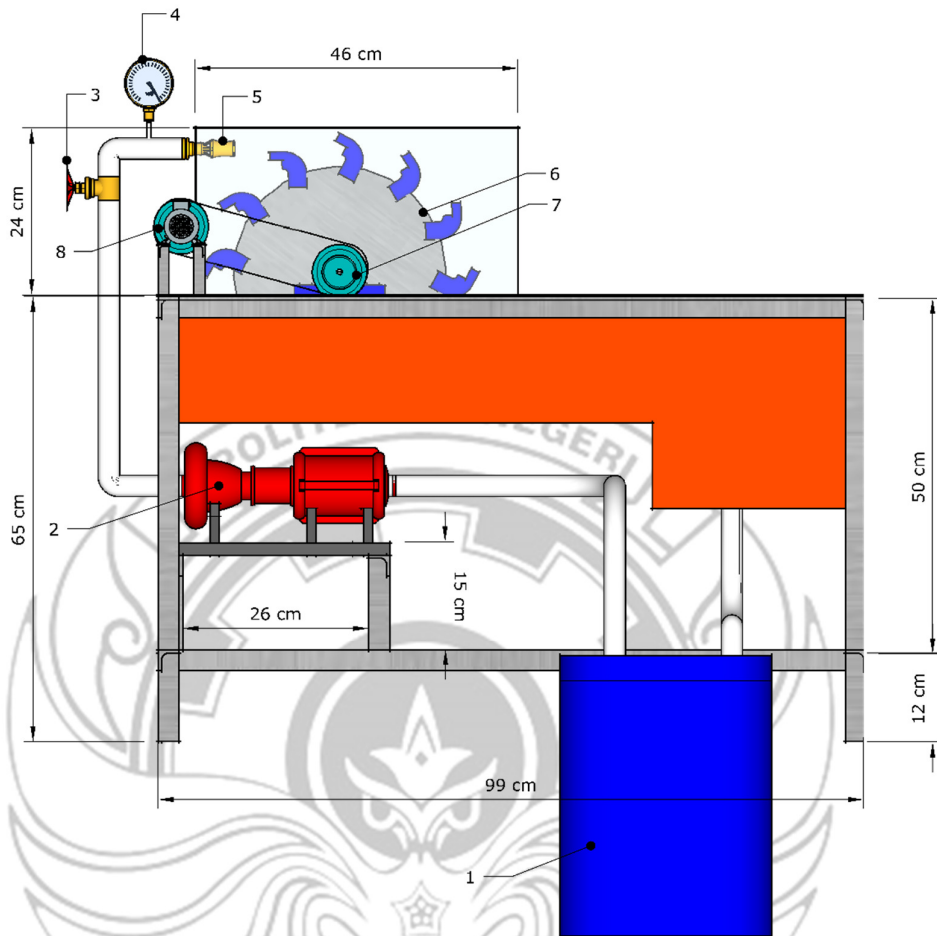
Setelah turbin impuls dirakit maka semua komponen disatukan pada rangka siku meliputi penampungan air, pompa air, nosel, turbin pelton, dan generator. Kemudian setelah turbin Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 7 Instalasi Penelitian Tampak Samping



Gambar 3. 8 Instalasi Penelitian Tampak Atas



Gambar 3. 9 Instalasi Penelitian Tampak Depan

Keterangan:

- 1) Bak Penampungan Air
- 2) Pompa
- 3) Valve
- 4) Barometer
- 5) Nosel
- 6) Turbin
- 7) Pulley
- 8) Generator

3.5 Langkah-langkah Pengujian Alat

Adapun langkah-langkah pengujian alat yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapan alat.
- 2) Gunakan turbin pelton dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci dengan jumlah sudu turbin yakni 15 buah.
- 3) On-kan saklar pompa.
- 4) Ukur volume (V) dan waktu (t) aliran air.
- 5) Ukur putaran turbin (N).
- 6) Sambungkan sistem dengan generator.
- 7) Berikan beban listrik secara bervariasi.
- 8) Ukur putaran turbin (N), tegangan listrik (V), dan arus listrik (I).
- 9) Off-kan saklar pompa
- 10) Ganti turbin pelton dengan diameter sudu yang berbeda.
- 11) Ulangi langkah 3-8.
- 12) Selesai.

3.6 Teknik Analisis Data

Berikut merupakan sampel data yang akan diukur pada saat pengujian kerja turbin pelton:

- 1) Volume tangki penampungan (m^3)
- 2) Waktu (s)
- 3) Tekanan (bar)
- 4) Diameter nosel (m^2)

- 5) Kecepatan putaran turbin (rpm)
- 6) Tegangan (Volt)
- 7) Arus (Ampere)

Berikut merupakan persamaan umum yang akan digunakan untuk menganalisis uji kinerja turbin pelton :

1) Daya Input

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 \dots\dots\dots (1)$$

a. Debit

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (2)$$

b. Luas Celah Nosel

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots (3)$$

c. Laju Aliran Massa (\dot{m})

$$\dot{m} = Q \cdot \rho_{air} \dots\dots\dots (4)$$

d. Kecepatan Aliran Air (v)

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana,

P_{in} = Daya input (watt)

\dot{m} = Laju Aliran Massa (kg/s)

v = Kecepatan Aliran Air (m/s)

Q = Debit air (m³/s)

v = Volume Tangki Penampung (m³)

t = waktu (s)

A = Luas celah nosel (m²)

d = Diameter Celah Nosel (m²)

ρ_{air} = Massa jenis air (kg/m³)

2) Daya Output Listrik

$$P_L = V \cdot I \quad \dots\dots\dots (6)$$

Dimana,

P_L = Daya output listrik (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

3) Efisiensi Sistem

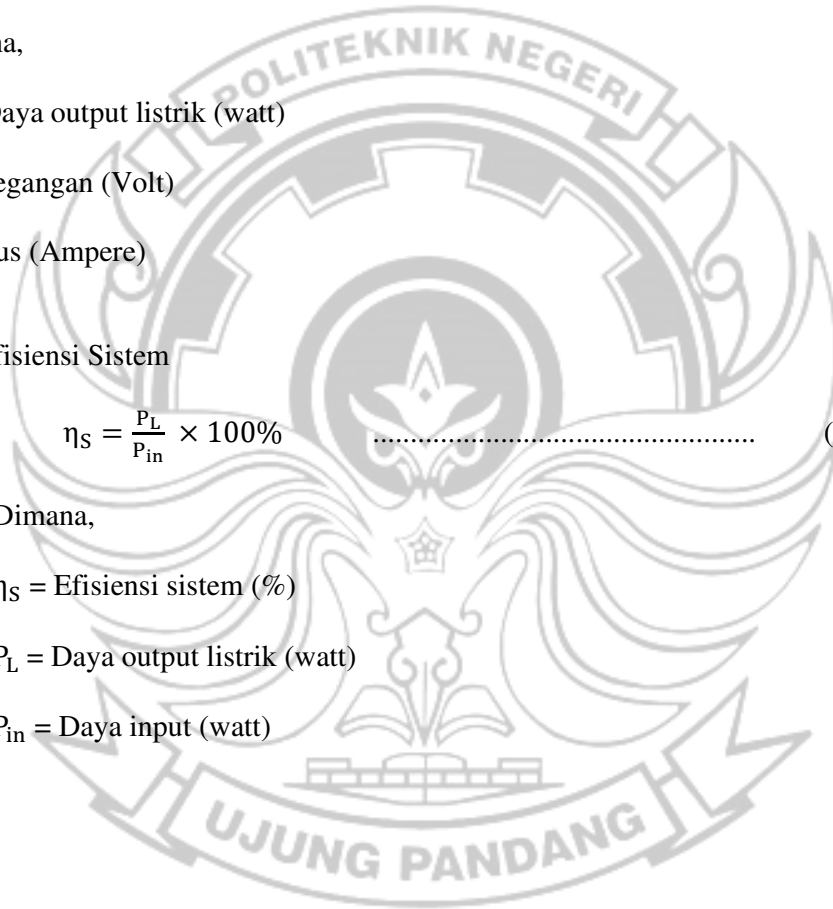
$$\eta_S = \frac{P_L}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dimana,

η_S = Efisiensi sistem (%)

P_L = Daya output listrik (watt)

P_{in} = Daya input (watt)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Turbin Impuls

Berdasarkan hasil pengujian turbin impuls menggunakan pipa elbow dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, $\frac{3}{4}$ inci, dan 1 inci dilakukan dua jenis pengujian yaitu tanpa beban dan berbeban dengan memvariasikan diameter sudu turbin serta menggunakan gelas ukur dengan nilai 5 Liter = $0,005 \text{ m}^3$ dan mencatat waktu yang dibutuhkan untuk digunakan pada perhitungan debit air.

Adapun data hasil pengujian turbin impuls menggunakan pipa elbow diameter $\frac{1}{2}$ inci, $\frac{3}{4}$ inci, dan 1 inci adalah sebagai berikut:

4.1.1 Pengujian Tanpa Beban

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian

Diameter Sudu (Inci)	Tegangan (V)	Putaran Turbin (rpm)
$\frac{1}{2}$	28	640
$\frac{3}{4}$	27,6	573
1	27,4	550

4.1.2 Pengujian Berbeban

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu ½ Inchi dengan beban paralel

Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	\bar{t} (s)	V1 (V)	V2 (V)	V2 (V)	\bar{V} (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozzle (Bar)
1	0,005	30	32	30	30,7	12,00	12,03	12,02	12,02	0,124	0,123	0,125	0,124	279	558	1,9
2	0,005	30	30	30	30,0	10,00	9,98	10,01	10,00	0,135	0,135	0,135	0,135	260	520	1,9
3	0,005	30	31	30	30,3	9,70	9,73	9,75	9,73	0,159	0,157	0,156	0,157	252	504	1,9
4	0,005	30	32	28	30,0	9,40	9,44	9,42	9,42	0,166	0,166	0,167	0,166	243	486	1,9
5	0,005	31	29	30	30,0	9,00	9,01	9,02	9,01	0,189	0,190	0,191	0,190	238	476	1,9
6	0,005	30	32	29	30,3	8,90	8,93	8,91	8,91	0,196	0,197	0,198	0,197	228	456	1,9

Keterangan : bohlam 5 Watt

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu ¾ Inchi dengan beban paralel

Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	\bar{t} (s)	V1 (V)	V2 (V)	V2 (V)	\bar{V} (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozzle (Bar)
1	0,005	30	32	30	30,7	12,45	12,42	12,42	12,43	0,181	0,181	0,183	0,182	300	600	1,9
2	0,005	31	31	28	30,0	11,10	11,05	11,06	11,07	0,195	0,193	0,193	0,194	280	560	1,9
3	0,005	32	29	29	30,0	10,43	10,42	10,39	10,41	0,199	0,200	0,201	0,200	268	536	1,9
4	0,005	31	31	30	30,7	10,06	10,00	10,04	10,03	0,220	0,218	0,220	0,219	259	518	1,9
5	0,005	32	31	29	30,7	9,83	9,79	9,71	9,78	0,260	0,258	0,258	0,259	249	498	1,9
6	0,005	31	29	32	30,7	9,49	9,48	9,47	9,48	0,290	0,292	0,293	0,292	243	486	1,9

Keterangan : bohlam 5 Watt

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu 1 Inchi dengan beban paralel

Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	\bar{t} (s)	V1 (V)	V2 (V)	V2 (V)	\bar{V} (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozzle (Bar)
1	0,005	29	30	31	30,0	12,50	12,40	12,50	12,47	0,185	0,185	0,185	0,185	350	700	1,9
2	0,005	31	30	30	30,3	11,40	11,30	11,10	11,27	0,190	0,192	0,191	0,191	326	652	1,9
3	0,005	31	31	30	30,7	10,40	10,60	10,40	10,47	0,215	0,215	0,216	0,215	315	630	1,9
4	0,005	33	30	30	31,0	10,00	9,90	9,80	9,90	0,220	0,223	0,222	0,222	272	544	1,9
5	0,005	30	30	31	30,3	9,80	9,70	9,60	9,70	0,260	0,263	0,258	0,260	250	500	1,9
6	0,005	30	31	31	30,7	9,50	9,50	9,40	9,47	0,285	0,283	0,285	0,284	236	472	1,9

Keterangan : bohlam 5 Watt

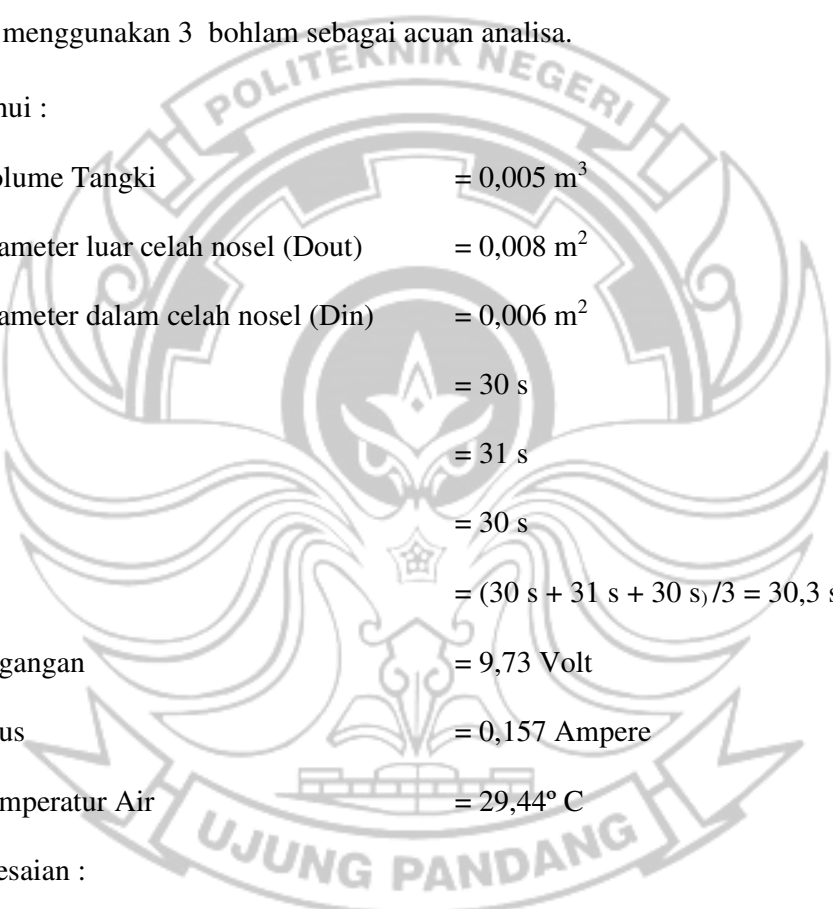
4.2 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian dari ketiga jenis turbin impuls, maka diperoleh data-data yang dianalisis sebagai berikut:

4.2.1 Pengujian Dengan Menggunakan Diameter Sudu ½ Inchi

Berdasarkan data ke-3 pada tabel 4.2 pengujian turbin dengan diameter sudu ½ inci menggunakan 3 bohlam sebagai acuan analisa.

Diketahui :



Volume Tangki	= 0,005 m ³
Diameter luar celah nosel (Dout)	= 0,008 m ²
Diameter dalam celah nosel (Din)	= 0,006 m ²
t ₁	= 30 s
t ₂	= 31 s
t ₃	= 30 s
\bar{t}	= (30 s + 31 s + 30 s)/3 = 30,3 s
Tegangan	= 9,73 Volt
Arus	= 0,157 Ampere
Temperatur Air	= 29,44° C

Penyelesaian :

1) Daya Input

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

a. Debit (Q)

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0,005 \text{ m}^3}{30,3 \text{ s}} = 0,0001650 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Massa Jenis Air (ρ_{air})

Berdasarkan tabel air maka diperoleh:

$$\text{Temperatur air} = 29,44^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Massa Jenis Air } (\rho_{air}) = 995,884 \text{ kg/m}^3$$

c. Luas Celah Nosel (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,008^2 \right) - \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,006^2 \right) \\ &= 0,000022 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Laju Aliran Massa (\dot{m})

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \cdot \rho_{air} \\ &= 0,0001650 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 995,884 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,1643 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

e. Kecepatan Aliran Air (v)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0001650 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000022 \text{ m}^2} = 7,508 \text{ m/s}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \cdot 0,1643 \text{ kg/s} \cdot (7,508 \text{ m/s})^2 \\ &= 4,631 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2) Daya Output Listrik

$$\begin{aligned} P_L &= V \times I \\ &= 9,73 \text{ V} \times 0,157 \text{ A} \\ &= 1,530 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3) Efisiensi Sistem

$$\begin{aligned}\eta_s &= \frac{P_L}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{1,530 \text{ Watt}}{4,631 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 33,043\%\end{aligned}$$

Hasil analisis data lain dapat dilihat pada Tabel 4.5.

4.2.2 Pengujian Dengan Menggunakan Diameter Sudu $\frac{3}{4}$ Inchi

Berdasarkan data ke-5 pada tabel 4.3 pengujian turbin dengan diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci menggunakan 5 bohlam sebagai acuan analisa.

Diketahui :

Volume Tangki	= 0,005 m ³
Diameter luar celah nosel (Dout)	= 0,008 m ²
Diameter dalam celah nosel (Din)	= 0,006 m ²
t ₁	= 32 s
t ₂	= 31 s
t ₃	= 29 s
\bar{t}	= (32 s + 31 s + 29 s) / 3 = 30,7 s
Tegangan	= 9,78 Volt
Arus	= 0,259 Ampere
Temperatur air	= 29,44°C

Penyelesaian :

1) Daya Input

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

a. Debit (Q)

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0,005 \text{ m}^3}{30,7 \text{ s}} = 0,0001629 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Massa Jenis Air (ρ_{air})

Berdasarkan tabel air maka diperoleh:

$$\text{Temperatur air} = 29,44^\circ\text{C}$$

$$\text{Massa Jenis Air } (\rho_{air}) = 995,884 \text{ kg/m}^3$$

c. Luas Celah Nosel (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,008^2 \right) - \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,006^2 \right) \\ &= 0,000022 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Laju Aliran Massa (\dot{m})

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \cdot \rho_{air} \\ &= 0,0001629 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 995,884 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,1622 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

e. Kecepatan Aliran Air (v)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0001629 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000022 \text{ m}^2} = 7,410 \text{ m/s}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Pin} &= \frac{1}{2} 0,1622 \text{ kg/s} \cdot (7,410 \text{ m/s})^2 \\ &= 4,453 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2) Daya Output Listrik

$$\begin{aligned}P_L &= V \times I \\ &= 9,78 \text{ V} \times 0,259 \text{ A} \\ &= 2,529 \text{ Watt}\end{aligned}$$

3) Efisiensi Sistem

$$\begin{aligned}\eta_s &= \frac{P_L}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,529 \text{ Watt}}{4,453 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 56,795\%\end{aligned}$$

Hasil analisis data lain dapat dilihat pada Tabel 4.6.

4.2.3 Pengujian Dengan Menggunakan Diameter Sudu 1 Inchi

Berdasarkan data ke-6 pada tabel 4.4 pengujian turbin dengan diameter sudu 1 inci menggunakan 6 balon lampu sebagai acuan analisa.

Diketahui :

$$\text{Volume Tangki} = 0,005 \text{ m}^3$$

$$\text{Diameter luar celah nosel (Dout)} = 0,008 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter dalam celah nosel (Din)} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$t_1 = 30 \text{ s}$$

$$t_2 = 31 \text{ s}$$

$$t_3 = 31 \text{ s}$$

$$\bar{t} = (30 \text{ s} + 31 \text{ s} + 31 \text{ s})/3 = 30,7 \text{ s}$$

$$\text{Tegangan} = 9,47 \text{ Volt}$$

$$\text{Arus} = 0,284 \text{ Ampere}$$

$$\text{Temperatur air} = 29,44^{\circ}\text{C}$$

Penyelesaian :

1) Daya Input

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

a. Debit (Q)

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0,005 \text{ m}^3}{30,7 \text{ s}} = 0,0001629 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Massa Jenis Air (ρ_{air})

Berdasarkan tabel air maka diperoleh:

$$\text{Temperatur air} = 29,44^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Massa Jenis Air } (\rho_{\text{air}}) = 995,884 \text{ kg/m}^3$$

c. Luas Celah Nosel (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,008^2 \right) - \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,006^2 \right) \\ &= 0,000022 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

d. Laju Aliran Massa (\dot{m})

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \cdot \rho_{\text{air}} \\ &= 0,0001629 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 995,8836 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,1622 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

e. Kecepatan Aliran Air (v)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0001629 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000022 \text{ m}^2} = 7,410 \text{ m/s}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} 0,1622 \text{ kg/s} \cdot (7,410 \text{ m/s})^2 \\ &= 4,453 \text{ Watt} \end{aligned}$$

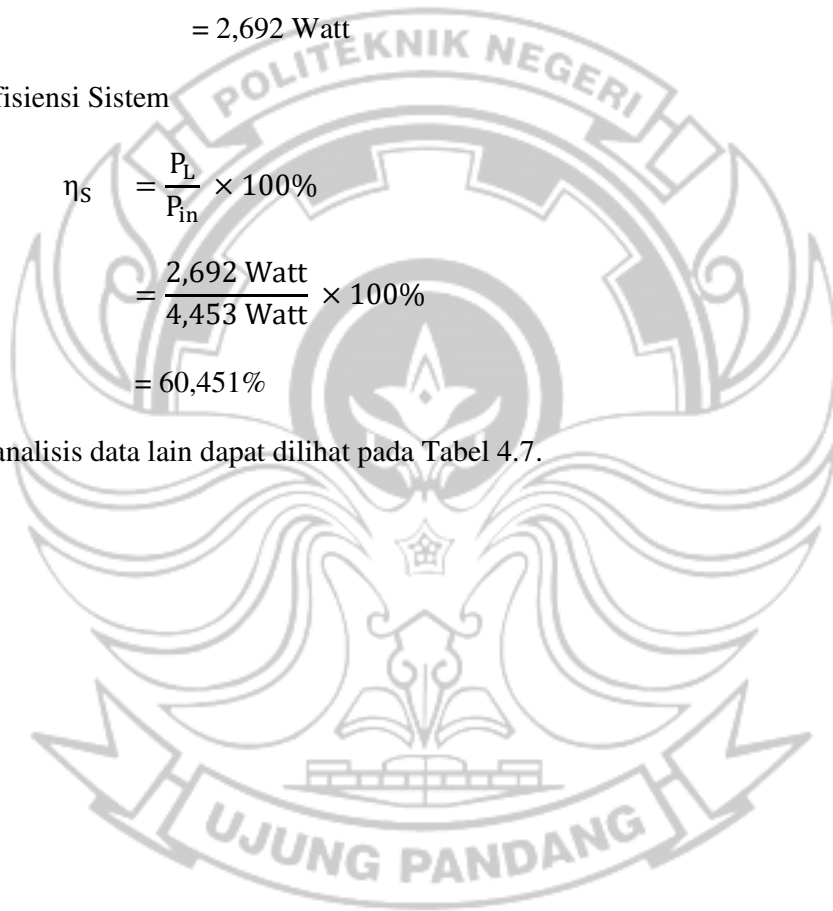
2) Daya Output Listrik

$$\begin{aligned} P_L &= V \times I \\ &= 9,47 \text{ V} \times 0,284 \text{ A} \\ &= 2,692 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3) Efisiensi Sistem

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{P_L}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,692 \text{ Watt}}{4,453 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 60,451\% \end{aligned}$$

Hasil analisis data lain dapat dilihat pada Tabel 4.7.



4.3 Tabel Hasil Analisis Data

Setelah melakukan analisis data dari ketiga jenis turbin impuls, maka diperoleh hasil analisis data sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter ½ Sudu Inchi

ρ_{air} (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	\dot{m} (10 ⁻¹ kg/s)	A (10 ⁻³ m ²)	v (m/s)	P _{in} (watt)	P _L (watt)	η_s (%)
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	1,490	33,465
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	1,350	28,283
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	1,530	33,043
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	1,567	32,837
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	1,712	35,876
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	1,756	37,914

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter Sudu ¾ Inchi

ρ_{air} (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	\dot{m} (10 ⁻¹ kg/s)	A (10 ⁻³ m ²)	v (m/s)	P _{in} (watt)	P _L (watt)	η_s (%)
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,258	50,714
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	2,144	44,930
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	2,083	43,647
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,201	49,423
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,529	56,795
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,765	62,098

Tabel 4. 7 Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter Sudu 1 Inchi

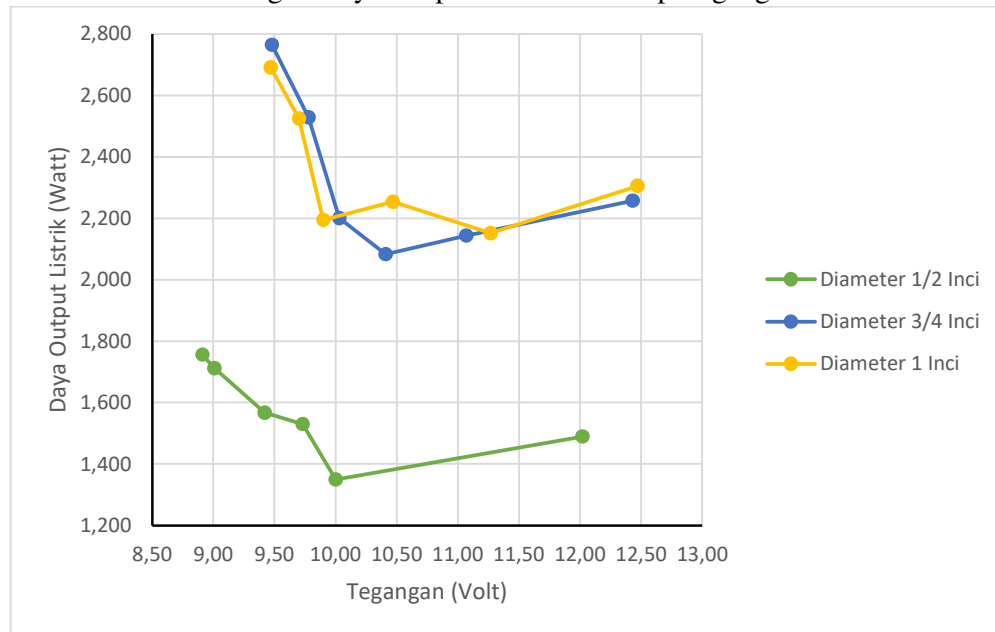
ρ_{air} (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ / s)	\dot{m} (10 ⁻¹ kg/s)	A (10 ⁻³ m ²)	v (m/s)	P _{in} (watt)	P _L (watt)	η_s (%)
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	2,306	48,334
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	2,152	46,465
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,254	50,628
995,884	1,613	1,606	0,022	7,338	4,325	2,195	50,744
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	2,525	54,525
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,692	60,451



4.4 Grafik

Setelah dilakukan analisis data hasil pengujian maka selanjutnya data hasil analisis dibuat dalam bentuk visual grafik perbandingan antara ketiga jenis turbin dengan beban satu bohlam senilai 5 watt.

4.4.1 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Tegangan

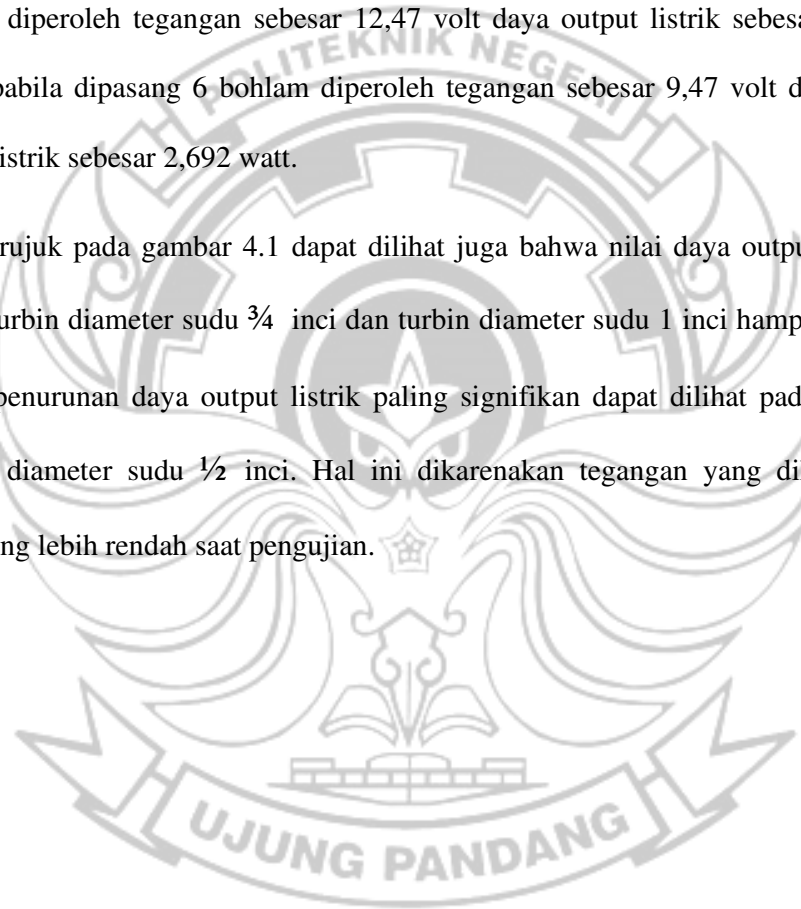


Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Tegangan

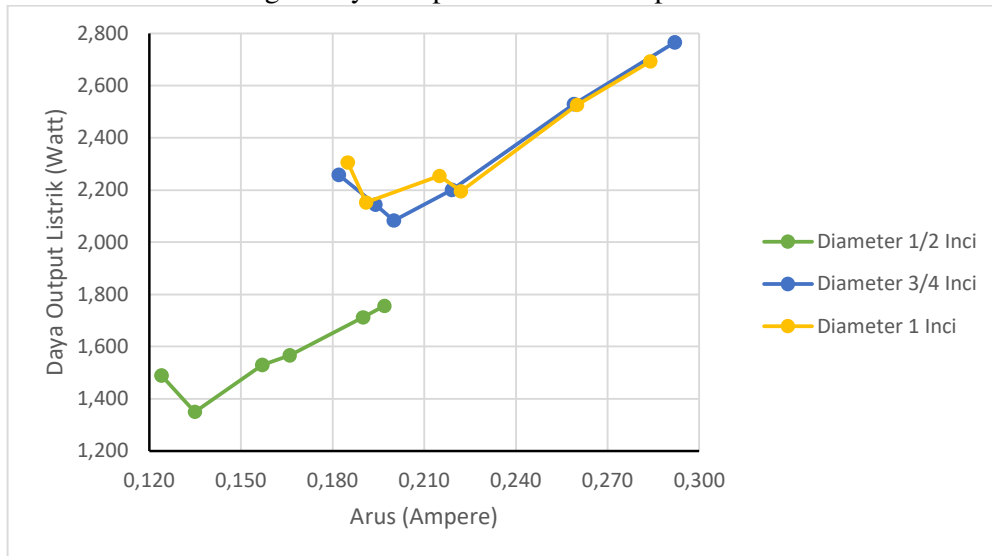
Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami penurunan. Adapun trend grafik yang berwarna hijau menunjukkan turbin dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, trend grafik yang berwarna biru menunjukkan turbin dengan diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci, dan trend grafik yang berwarna kuning menunjukkan turbin dengan diameter sudu 1 inci. Pada turbin diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh tegangan sebesar 12,02 volt dan daya output listrik sebesar 1,490 watt, apabila

dipasang 6 bohlam diperoleh tegangan sebesar 8,91 volt dan daya output listrik sebesar 1,756 watt. Untuk turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh tegangan sebesar 12,43 volt dan daya output listrik sebesar 2,258 watt, apabila dipasang 6 bohlam diperoleh tegangan sebesar 9,48 volt dan daya output listrik sebesar 2,765 watt. Untuk turbin diameter sudu 1 inci, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh tegangan sebesar 12,47 volt daya output listrik sebesar 2,306 watt, apabila dipasang 6 bohlam diperoleh tegangan sebesar 9,47 volt dan daya output listrik sebesar 2,692 watt.

Merujuk pada gambar 4.1 dapat dilihat juga bahwa nilai daya output listrik antara turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci dan turbin diameter sudu 1 inci hampir sama. Untuk penurunan daya output listrik paling signifikan dapat dilihat pada turbin dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci. Hal ini dikarenakan tegangan yang dihasilkan cenderung lebih rendah saat pengujian.



4.4.2 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Arus



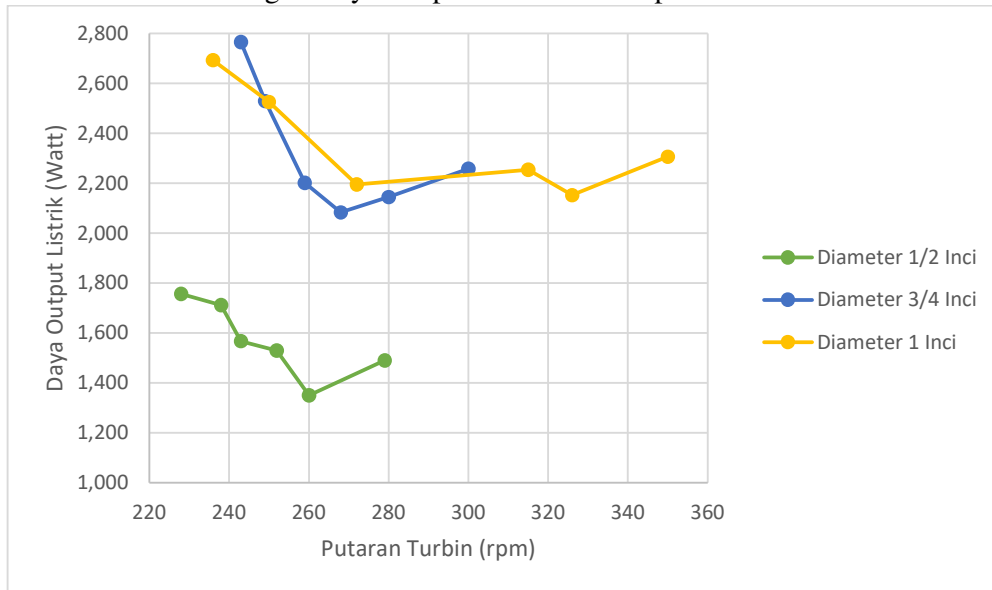
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Arus

Berdasarkan gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami kenaikan. Untuk turbin diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh arus sebesar 0,124 ampere dan daya output listrik sebesar 1,490 watt, apabila dipasang 6 bohlam diperoleh arus sebesar 0,197 ampere dan daya output listrik sebesar 1,756 watt. Untuk turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh arus sebesar 0,182 ampere dan daya output listrik sebesar 2,258 watt, apabila dipasang 6 bohlam diperoleh arus sebesar 0,292 ampere dan daya output listrik sebesar 2,765 watt. Untuk turbin diameter sudu 1 inci, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh arus sebesar 0,185 ampere dan daya output listrik sebesar 2,306 watt, apabila dipasang 6 bohlam diperoleh arus sebesar 0,284 ampere dan daya output listrik sebesar 2,692 watt.

Merujuk pada gambar 4.1 dapat dilihat juga bahwa nilai daya output listrik antara turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci dan turbin diameter sudu 1 inci hampir sama. Untuk penurunan daya output listrik paling signifikan dapat dilihat pada turbin dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci. Hal ini dikarenakan arus yang dihasilkan cenderung lebih rendah saat pengujian.



4.4.3 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Putaran Turbin



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Daya Output Listrik terhadap Putaran Turbin

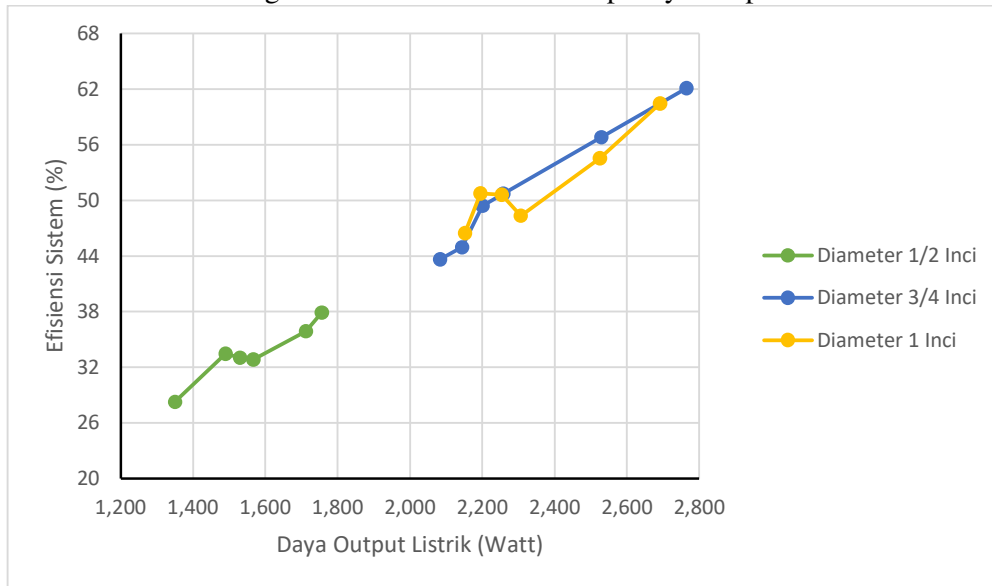
Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran turbin, maka daya output listrik cenderung mengalami penurunan. Untuk turbin diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, diperoleh daya output listrik tertinggi yaitu 1,756 watt pada putaran turbin sebesar 228 rpm. Untuk turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci, diperoleh daya output listrik tertinggi yaitu 2,765 watt pada putaran turbin sebesar 243 rpm. Untuk turbin diameter sudu 1 inci, diperoleh daya output listrik tertinggi yaitu 2,692 watt pada putaran turbin sebesar 236 rpm.

Merujuk pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa penurunan putaran turbin dan daya output listrik sangat signifikan terjadi pada turbin dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci. Hal ini dikarenakan karena turbin variasi ini lebih ringan dibanding 2 jenis turbin lainnya sehingga putaran yang dihasilkan cenderung lebih rendah pada setiap pembebanan dilakukan.

Dapat dilihat untuk variasi turbin dengan diameter sudu 1 inci putaran turbin yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dua jenis turbin lainnya. Hal ini dikarenakan karena turbin variasi ini lebih berat sehingga putaran yang dihasilkan lebih konstan pada setiap pembebanan dilakukan.



4.4.4 Grafik Hubungan Efisiensi Sistem terhadap Daya Output Listrik



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Efisiensi Sistem terhadap jumlah Bohlam

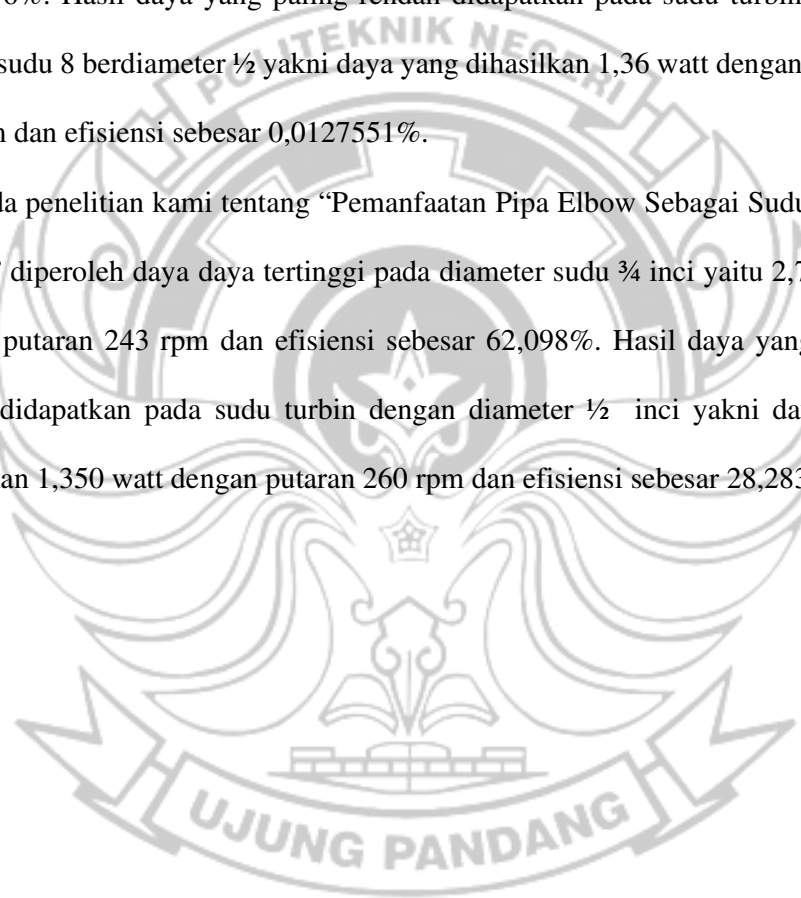
Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa penambahan jumlah bohlam cenderung akan meningkatkan efisiensi sistem. Untuk turbin diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, diperoleh daya output listrik tertinggi 1,756 watt pada efisiensi 37,91%. Untuk turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci diperoleh daya output listrik tertinggi 2,765 watt pada efisiensi 62,10%. Untuk turbin diameter sudu 1 inci, diperoleh daya output listrik tertinggi 2,692 pada efisiensi 60,45%.

Merujuk pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa efisiensi sistem turbin diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci dan turbin diameter sudu 1 inci nilainya tidak terpaut jauh. Untuk diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci, efisiensi sistem yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dua jenis turbin lainnya.

4.5 Pembahasan

Pada penelitian Fernandus Balu Zei (2016) tentang “Karakteristik Daya Turbin Pelton Skala Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu Pipa Elbow Dengan Diameter $\frac{1}{2}$ inci dan $\frac{3}{4}$ inci” diperoleh daya tertinggi pada jumlah sudu 12 buah dengan diameter $\frac{1}{2}$ inci yaitu 1,938 watt dengan putaran 560 rpm dan efisiensi turbin sebesar 0,018176%. Hasil daya yang paling rendah didapatkan pada sudu turbin dengan jumlah sudu 8 berdiameter $\frac{1}{2}$ yakni daya yang dihasilkan 1,36 watt dengan putaran 475 rpm dan efisiensi sebesar 0,0127551%.

Pada penelitian kami tentang “Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls” diperoleh daya tertinggi pada diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci yaitu 2,765 watt dengan putaran 243 rpm dan efisiensi sebesar 62,098%. Hasil daya yang paling rendah didapatkan pada sudu turbin dengan diameter $\frac{1}{2}$ inci yakni daya yang dihasilkan 1,350 watt dengan putaran 260 rpm dan efisiensi sebesar 28,283%.



BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kinerja dan perhitungan data mengenai pemanfaatan pipa elbow sebagai sudu turbin impuls, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Kinerja dari turbin impuls dengan menggunakan sudu pipa elbow 90° yakni daya output listrik terendah terdapat pada pengujian turbin impuls dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci yang bernilai 1,350 Watt, sedangkan daya output tertinggi terdapat pada pengujian turbin impuls dengan diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci yang bernilai 2,765 Watt. Efisiensi sistem terendah terdapat pada pengujian turbin impuls dengan diameter sudu $\frac{1}{2}$ inci yang bernilai 28,28%, sedangkan efisiensi sistem tertinggi terdapat pada pengujian turbin impuls dengan diameter $\frac{3}{4}$ inci yang bernilai 62,10%;
- 2) Dari hasil pengujian dan analisis data, kinerja turbin impuls terbaik terdapat pada turbin dengan diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci dengan efisiensi terbesar yaitu 62,10%.

5.2 SARAN

Diharapkan untuk pengembangan selanjutnya lebih memperhatikan pemilihan dan pemasangan komponen serta peralatan yang digunakan agar data-data yang dihasilkan lebih maksimal misalnya menggunakan pipa elbow

dengan diameter lebih besar, memvariasikan debit, mencoba pada sudut nosel yang berbeda dan menggunakan lebih dari satu buah nosel.



DAFTAR PUSTAKA

- Giri, Rama Setiamanda Hendarto Putra. 2021. Pengaruh Variasi Diameter Nosel Terhadap Efisiensi Turbin Air Pelton. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
- Hasan, Ismail dan A. Ashadi. Z. 2003. Evaluasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Pada PLTM Sawitto. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Ilham dan Zulkifli Syamsul. 2016. Rancang Bangun Dan Pengujian Kinerja Turbin Roda Air Dengan Memanfaatkan Aliran Irigasi. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Irwan dan Muh. Wahyu Achmad. 2016. Analisis Pengaruh Jumlah Sudu, Diameter Dan Kedalaman Rendaman Terhadap Kinerja Turbin Roda Air. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Iskandar, Achmad Afrizal dan Muh Try Fadel Kahar. 2014. Pembuatan Prototipe Turbin Pelton Dengan Pipa Galvanis Diameter $\frac{1}{2}$ Inchi Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Kamal, Samsul dan Prajitno. 2013. Evaluasi Unjuk Kerja Turbin Air Pelton Terbuat Dari Kayu Dan Bambu Sebagai Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Untuk Pedesaan. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, XX (2): 190-198.
- Lukas dkk. 2017. Studi Kinerja Pembangkit Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. *Jurnal Teknik Elektro*, XX (1): 17-23.
- Mafruddin dan Dwi Irawan. 2020. *Turbin Impuls*. Cetakan ke-1, Metro-Lampung: Laduny Alifatama.
- Mochtadin, Azmi Rachman. 2019. Analisa Variasi Diameter Nosel Terhadap Putaran Poros Turbin Pelton Skala Laboratorium. Skripsi. Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.

Muis, Abdul. 2010. Turbin Air Pada PLTA Larona. *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*, VII (1): 61-69.

Niharman dkk. 2021. Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Dengan Tekanan Konstan. *Teknosia*, I (1): 36-42.

Yani, Ahmad dkk. 2020. Blade Shape Analysis on The Performance of The Pelton Turbine Prototype. *INTEK: Jurnal Penelitian*, VII(1): 50.

Zei, Ferdinandus Balu. 2016. Karakteristik Daya Turbin Pelton Skala Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu Pipa Elbow 90° Dengan Diameter ½” Dan ¾”. Skripsi. Jurusan Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.



L

A

M

P

I

R

A

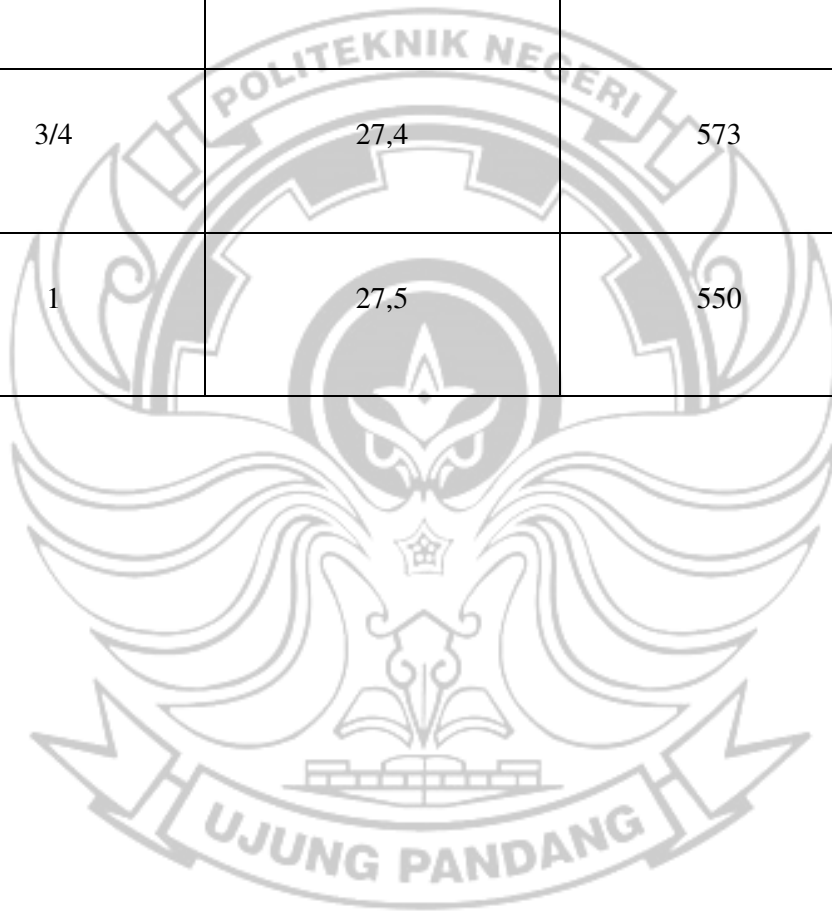
N



Lampiran 1 Tabel Data Hasil Pengujian

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tanpa Beban

Diameter Sudu (Inci)	Tegangan (V)	Putaran Turbin (rpm)
1/2	26	640
3/4	27,4	573
1	27,5	550



Tabel 2. Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu 1/2 Inchi dengan beban paralel

Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	\bar{t} (s)	V1 (V)	V2 (V)	V2 (V)	\bar{V} (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Tekanan pada Nozzle (Bar)
1	0,005	30	32	30	30,7	12,00	12,03	12,02	12,02	0,124	0,123	0,125	0,124	279	1,9
2	0,005	30	30	30	30,0	10,00	9,98	10,01	10,00	0,135	0,135	0,135	0,135	260	1,9
3	0,005	30	31	30	30,3	9,70	9,73	9,75	9,73	0,159	0,157	0,156	0,157	252	1,9
4	0,005	30	32	28	30,0	9,40	9,44	9,42	9,42	0,166	0,166	0,167	0,166	243	1,9
5	0,005	31	29	30	30,0	9,00	9,01	9,02	9,01	0,189	0,190	0,191	0,190	238	1,9
6	0,005	30	32	29	30,3	8,90	8,93	8,91	8,91	0,196	0,197	0,198	0,197	228	1,9



Tabel 3. Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu ¼ Inchi dengan beban paralel

Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	\bar{t} (s)	V1 (V)	V2 (V)	V2 (V)	\bar{V} (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Tekanan pada Nozzle (Bar)
1	0,005	30	32	30	30,7	12,45	12,42	12,42	12,43	0,181	0,181	0,183	0,182	300	1,9
2	0,005	31	31	28	30,0	11,10	11,05	11,06	11,07	0,195	0,193	0,193	0,194	280	1,9
3	0,005	32	29	29	30,0	10,43	10,42	10,39	10,41	0,199	0,200	0,201	0,200	268	1,9
4	0,005	31	31	30	30,7	10,06	10,00	10,04	10,03	0,220	0,218	0,220	0,219	259	1,9
5	0,005	32	31	29	30,7	9,83	9,79	9,71	9,78	0,260	0,258	0,258	0,259	249	1,9
6	0,005	31	29	32	30,7	9,49	9,48	9,47	9,48	0,290	0,292	0,293	0,292	243	1,9



Tabel 4. Data Hasil Pengujian Untuk Diameter Sudu 1 Inchi dengan beban paralel

Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	\bar{t} (s)	V1 (V)	V2 (V)	V2 (V)	\bar{V} (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Tekanan pada Nozzle (Bar)
1	0,005	29	30	31	30,0	12,50	12,40	12,50	12,47	0,185	0,185	0,185	0,185	350	1,9
2	0,005	31	30	30	30,3	11,40	11,30	11,10	11,27	0,190	0,192	0,191	0,191	326	1,9
3	0,005	31	31	30	30,7	10,40	10,60	10,40	10,47	0,215	0,215	0,216	0,215	315	1,9
4	0,005	33	30	30	31,0	10,00	9,90	9,80	9,90	0,220	0,223	0,222	0,222	272	1,9
5	0,005	30	30	31	30,3	9,80	9,70	9,60	9,70	0,260	0,263	0,258	0,260	250	1,9
6	0,005	30	31	31	30,7	9,50	9,50	9,40	9,47	0,285	0,283	0,285	0,284	236	1,9



Lampiran 2 Tabel Hasil Analisis Data

Tabel 1. Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter ½ Sudu Inchi

ρ_{air} (kg/m ³)	Q ($\times 10^{-4}$) (m ³ /s)	\dot{m} ($\times 10^{-1}$) (kg/s)	A ($\times 10^{-3}$) (m ²)	v (m/s)	P _{in} (watt)	P _L (watt)	η_s (%)
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	1,490	33,465
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	1,350	28,283
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	1,530	33,043
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	1,567	32,837
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	1,712	35,876
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	1,756	37,914

Tabel 2. Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter Sudu ¾ Inchi

ρ_{air} (kg/m ³)	Q ($\times 10^{-4}$) (m ³ /s)	\dot{m} ($\times 10^{-1}$) (kg/s)	A ($\times 10^{-3}$) (m ²)	v (m/s)	P _{in} (watt)	P _L (watt)	η_s (%)
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,258	50,714
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	2,144	44,930
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	2,083	43,647
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,201	49,423
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,529	56,795
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,765	62,098

Tabel 3. Hasil Analisis Data Pengujian Untuk Diameter Sudu 1 Inchi

ρ_{air} (kg/m ³)	Q ($\times 10^{-4}$) (m ³ /s)	\dot{m} ($\times 10^{-1}$) (kg/s)	A ($\times 10^{-3}$) (m ²)	v (m/s)	P _{in} (watt)	P _L (watt)	η_s (%)
995,884	1,667	1,660	0,022	7,583	4,772	2,306	48,334
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	2,152	46,465
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,254	50,628
995,884	1,613	1,606	0,022	7,338	4,325	2,195	50,744
995,884	1,650	1,643	0,022	7,508	4,631	2,525	54,525
995,884	1,629	1,622	0,022	7,410	4,453	2,692	60,451



Lampiran 3 Dokumentasi



Model Potongan Sudu 1/2 inci, 3/4 inci dan 1 inci



Model Potongan Sudu 15 buah



Pembuatan Sungkup Turbin dari Acrilyc



Proses pembubutan Piringan Turbin



Proses Pengelasan poros Turbin



Proses pembubutan Piringan Turbin



Penunjukan Tekanan Nozzel



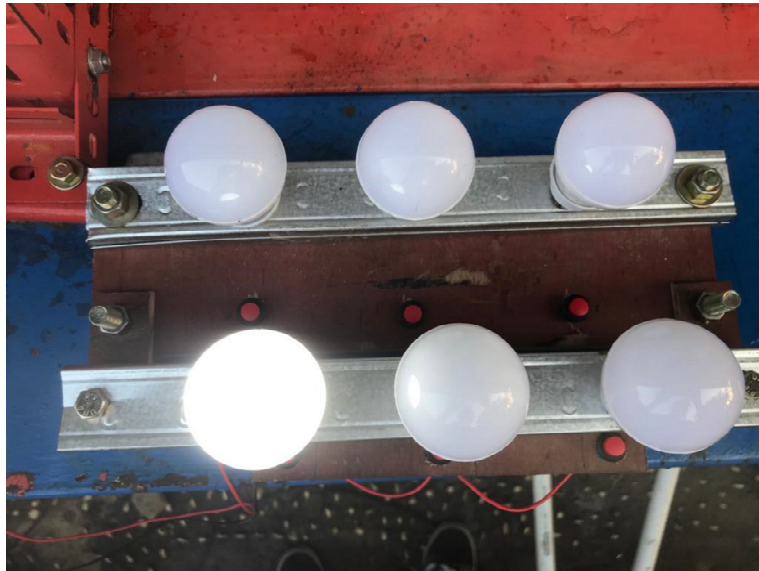
Turbin dengan Diameter Sudu 1/2 inci



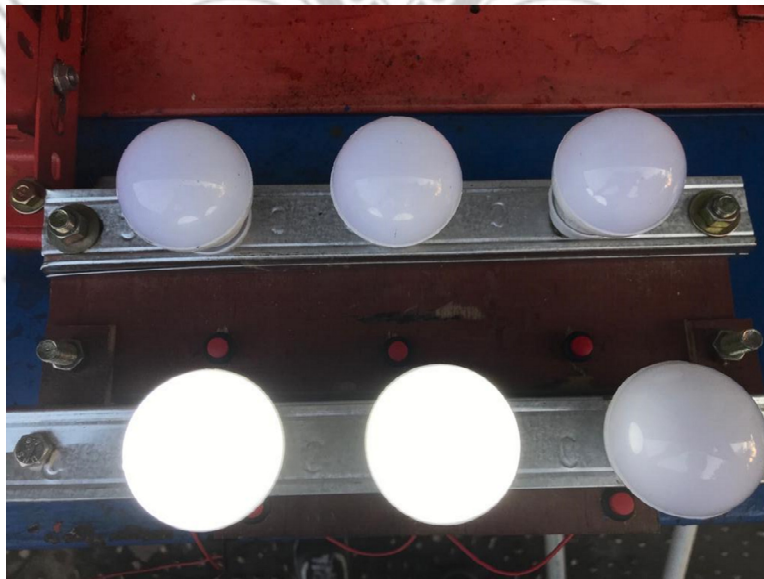
Turbin dengan Diameter Sudu $\frac{3}{4}$ inci



Turbin dengan Diameter Sudu 1 inci



Beban 1 buah bohlam



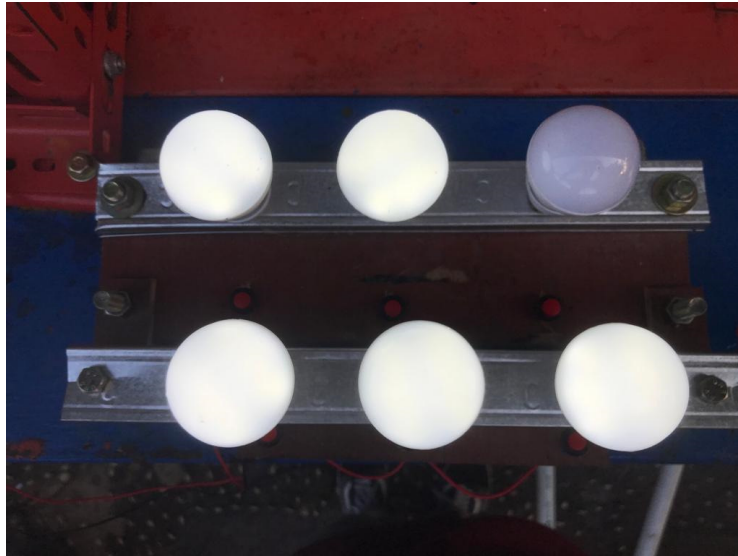
Beban 2 buah bohlam



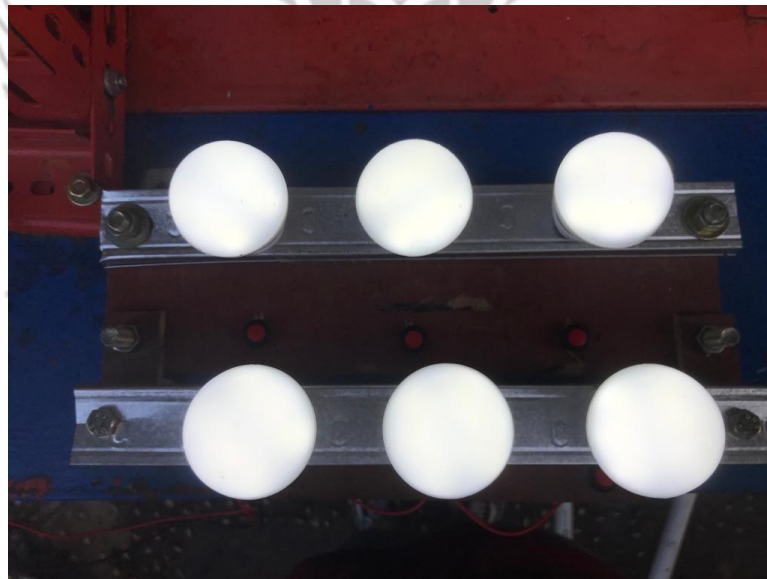
Beban 3 buah bohlam



Beban 4 buah bohlam



Beban 5 buah bohlam



Beban 6 buah bohlam



Rangkaian Turbin Dengan Diameter Sudu 1/2 Inchi



Rangkaian Turbin Dengan Diameter Sudu $\frac{3}{4}$ Inchi



Rangkaian Turbin Dengan Diameter Sudu 1 Inci



Proses Pengambilan Data



Proses Pengambilan Data



Proses Pengambilan Data



Proses Pengambilan Data