

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JARAK TUMBUKAN PADA SUDU
TERHADAP KINERJA TURBIN AIR ARUS ATAS**

Disusun dan diajukan oleh:

Keyear Kondorura

D021 20 1056



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

SULAWESI SELATAN

GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS PENGARUH VARIASI JARAK TUMBUKAN PADA SUDU
TERHADAP KINERJA TURBIN AIR ARUS ATAS**

Disusun dan diajukan oleh:

Keyear Kondorura

D021 20 1056

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 6 agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT
NIP. 19560827198503 1 001

Pembimbing Pendamping,



Gerard Antonini Duma, ST., MT
NIP. 19920226201903 1 009

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Keyear Kondorura
NIM : D021 20 1056
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“Analisis Pengaruh Variasi Jarak Tumbukan Pada Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Arus Atas”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 6 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Keyear Kondorura



ABSTRAK

Keyear Kondorura. Analisis pengaruh variasi jarak tumbukan pada sudu terhadap kinerja turbin air arus atas (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT dan Gerard Antonini Duma, ST., MT)

Turbin air merupakan salah satu teknologi yang sangat penting dalam menghasilkan energi listrik dari sumber energi terbarukan. Turbin air mengubah energi potensial dari jatuh air menjadi energi kinetik ketika nozzle menyemprotkan air yang mengenai sudu kemudian diteruskan pada sistem transmisi sehingga menjadi energi mekanik. Saat pancaran air bertekanan tinggi dari nosel mengenai turbin, menghasilkan putaran poros yang terhubung ke generator listrik yang kemudian menghasilkan tenaga listrik. Sudu pada turbin dapat mempengaruhi kinerja yang dihasilkan oleh turbin air. Posisi jatuhnya air yang mengenai sisi luar sudu dapat menyebabkan berkurangnya daya dan efisiensi turbin karena hanya sebagian energi air yang mengenai sudu. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan tipe turbin air arus atas dan lima sudu lengkung dengan memvariasikan jarak tumbukan dan pembebanan. Adapun jarak tumbukan yang digunakan adalah 0,13 m, 0,15 m, 0,17 m, 0,19 m, dan 0,21 m dan massa beban yaitu 0,1 kg sampai dengan 1,3 kg dengan debit dan head yang konstan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa jarak tumbukan pada sudu berbanding terbalik dengan daya dan efisiensi turbin. Daya dan efisiensi turbin tertinggi untuk debit $0,0009 \text{ m}^3/\text{s}$ dan head 1,65 m diperoleh pada jarak tumbukan 0,13 m dengan beban 1 kg pada putaran turbin 82 rpm yang menghasilkan daya sebesar 3,7888 watt dan efisiensi yang dihasilkan yaitu 25,0585%.

Kata kunci : jarak tumbukan, turbin air, sudu, pembebanan, efisiensi



ABSTRACT

Keyear Kondorura. *Analysis of the effect of variation impact distance on the blade to performance of overshoot water turbine* (supervised by Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT and Gerard Antonini Duma, ST., MT)

Water turbines are one of the most important technologies in generating electrical energy from renewable energy sources. The water turbine converts the potential energy of falling water into kinetic energy when the nozzle sprays water that hits the blade and then passes on the transmission system so that it becomes mechanical energy. When the high-pressure water jet from the nozzle hits the turbine, it produces shaft rotation which is connected to an electric generator which then generates electricity. The blade on the turbine can affect the performance produced on the water turbine. The position of the falling water hitting the outer side of the blade can cause a reduction in turbine power and efficiency because only part of the water energy hits the blade. This research was conducted experimentally using an up-current water turbine type and five curved blades by varying the impact distance and loading. The impact distance used is 0.13 m, 0.15 m, 0.17 m, 0.19 m, and 0.21 m and the mass of the load is 0.1 kg to 1.3 kg with constant discharge and head. The results obtained show that the impact distance on the blade is inversely proportional to the power and efficiency of the turbine. The highest turbine power and efficiency for a discharge of 0.0009 m³/s and a head of 1.65 m is obtained at an impact distance of 0.13 m with a load of 1 kg at a turbine rotation of 82 rpm which produces a power of 3.7888 watts and the resulting efficiency is 25.0585%.

Keywords: impact distance, water turbine, blades, loading, efficiency



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
I.4. Batasan Masalah	3
I.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1. Pengertian Turbin Air	5
II.2. Prinsip Kerja Turbin Air	6
II.3. Komponen Turbin Air.....	6
II.3.1. Rotor	7
II.3.2. Stator	7
II.4. Klasifikasi Turbin Air	7
II.4.1. Turbin Impuls.....	7
II.4.2. Turbin Reaksi.....	9
II.5. Sudu Turbin	11
II.6. Kincir Air	12
Klasifikasi Kincir Air.....	13
Prinsip Kerja Kincir Air.....	14
Prinsip Bernoulli	14
Prinsip Konservasi Energi	15
Prinsip Kesamaan Yang Digunakan	15



BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
III.1. Waktu dan Tempat Penelitian	19
III.2. Alat dan Bahan.....	19
III.2.1. Alat.....	19
III.2.2. Bahan	23
III.3. Metode Perubahan Jarak Tumbukan Pada Sudu.....	24
III.4. Prosedur Pengambilan Data	25
III.5. Spesifikasi Turbin	26
III.6. Rancangan Alat	27
III.7. Flow Chart Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
IV.1. Hasil	30
IV.1.1. Contoh Perhitungan Eksperimen	30
IV.1.2. Contoh Perhitungan Segitiga Kecepatan	34
IV.1.3. Hubungan Antara Beban Dengan Putaran Turbin	36
IV.1.4. Hubungan Antara Jarak Tumbukan Dengan Kecepatan Sudut Turbin.....	37
IV.1.5. Hubungan Antara Beban Dengan Daya Turbin	39
IV.1.6. Hubungan Antara Beban Dengan Efisiensi	41
IV.1.7. Hubungan Antara Putaran Turbin Dengan Daya Turbin	43
IV.1.8. Hubungan Antara Daya Turbin Dengan Efisiensi Turbin	45
IV.2. Pembahasan.....	47
IV.2.1. Hubungan Antara Beban Dengan Putaran Turbin	47
IV.2.2. Hubungan Antara Jarak Tumbukan Dengan Kecepatan Sudut Turbin.....	48
IV.2.3. Hubungan Antara Beban Dengan Daya Turbin	49
IV.2.4. Hubungan Antara Beban Dengan Efisiensi	50
IV.2.5. Hubungan Antara Putaran Turbin Dengan Daya Turbin	51
IV.2.6. Hubungan Antara Daya Turbin Dengan Efisiensi	52
IV. 3. Perbandingan Hasil Penelitian	53
BAB V KESIMPULAN	55
Kesimpulan	55
Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57



LAMPIRAN..... 61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Turbin Air (Irawansyah, 2017).....	6
Gambar 2. Skema Turbin Air (Fahdita, 2020)	6
Gambar 3. Turbin Pelton	8
Gambar 4. Turbin Crossflow	9
Gambar 5. Turbin francis tipe horisontal (Jaya, 2008).....	9
Gambar 6. Turbin francis tipe vertikal (Jaya, 2008)	10
Gambar 7. Skema turbin francis dan headnya (Jaya, 2008).....	10
Gambar 8. Skema dua jenis turbin propeller, poros vertikal (kiri) dan poros horizontal (kanan) (Jaya, 2008)	11
Gambar 9. Bentuk sudu turbin lengkung, lurus dan lengkung sirip.....	12
Gambar 10. Kincir air tipe undershot (Morong, 2016)	13
Gambar 11. Kincir air tipe breastshot (Morong, 2016).....	14
Gambar 12. Kincir air tipe overshot (Morong, 2016)	14
Gambar 13. Gergaji	19
Gambar 14. Meteran.....	19
Gambar 15. Bearing	20
Gambar 16. Tachometer	20
Gambar 17. Timer	20
Gambar 18. Neraca Pegas	21
Gambar 19. Pulley	21
Gambar 20. Tali Pramuka	21
Gambar 21. Pemberat	22
Gambar 22. Pompa air.....	22
Gambar 23. Katup	22
Gambar 24. Pipa PVC	23
Gambar 25. Sambungan pipa	23
Gambar 26. Pipa PVC 4 inch	23
Gambar 27. Drum air 200 liter	24
Gambar 28. Posisi jarak tumbukan jatuhnya air.....	24
Gambar 29. Instalasi alat.....	27



Gambar 30. Proyeksi alat	27
Gambar 31. Proyeksi turbin.....	28
Gambar 32. Vektor segitiga kecepatan turbin air arus atas	34
Gambar 33. Grafik hubungan antara beban dengan putaran turbin untuk variasi jarak tumbukan.....	37
Gambar 34. Grafik hubungan antara jarak tumbukan dengan kecepatan putar turbin untuk variasi jarak tumbukan	39
Gambar 35. Grafik hubungan antara beban dengan daya turbin untuk variasi jarak tumbukan.....	40
Gambar 36. Grafik hubungan antara beban dengan efisiensi untuk variasi jarak tumbukan.....	42
Gambar 37. Grafik hubungan antara putaran turbin dengan daya turbin untuk variasi jarak tumbukan	44
Gambar 38. Grafik hubungan antara daya dengan efisiensi turbin untuk variasi jarak tumbukan.....	46
Gambar 39. Grafik hubungan nilai maksimum antara daya dengan efisiensi turbin untuk variasi jarak tumbukan	46



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi turbin.....	26
Tabel 2. Hubungan antara beban dengan putaran turbin untuk variasi jarak tumbukan.....	36
Tabel 3. Hubungan antara jarak tumbukan dengan kecepatan putar turbin untuk variasi jarak tumbukan	38
Tabel 4. Hubungan antara beban dengan daya turbin untuk variasi jarak tumbukan	40
Tabel 5. Hubungan antara beban dengan efisiensi untuk variasi jarak tumbukan	41
Tabel 6. Hubungan antara putaran turbin dengan daya turbin untuk variasi jarak tumbukan.....	43
Tabel 7. Hubungan antara daya turbin dengan efisiensi turbin untuk variasi jarak tumbukan.....	45



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

No	Simbol	Keterangan	Satuan
1	Q	Debit air	m ³ /s
2	V	Volume air	m ³
3	t	Waktu	s
4	v	Kecepatan aliran air	m/s
5	A	Luas penampang	m ²
6	P _{air}	Daya air	Watt
7	ρ	Massa jenis air	kg/m ³
8	H	Tinggi air di <i>reservoir</i>	m
9	τ	Torsi	Nm
10	F	Gaya	N
11	r	Jari-jari pembebanan	m
12	m	Massa	kg
13	g	Percepatan gravitasi	m/s
14	P _t	Daya turbin	Watt
15	ω	Kecepatan putar	rad/s
16	n	Jumlah putaran	rpm
17	η	Efisiensi turbin	%



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel hasil pengamatan pengujian turbin air arus atas	61
Lampiran 2 Tabel hasil perhitungan pengujian turbin air arus atas	64
Lampiran 3 Tabel hasil perhitungan segitiga kecepatan turbin air arus atas	67
Lampiran 4 Tabel Densitas Air Berdasarkan Temperatur (Pell & Dunson, 1997)	70
Lampiran 5 Dokumentasi	71



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi Jarak Tumbukan Pada Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Arus Atas**” dengan baik dan tepat pada waktunya. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian studi dan penulisan skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan berupa pengajaran, bimbingan, arahan dan materi dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Oleh karena itu penulis dengan rendah hati dan penuh rasa hormat ingin menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Kedua orang tua terkasih, Bapak Luther Kalua' Patampang dan Ibu Yohana Rante Rombe dan juga kepada saudara penulis Wegianto, Geraldine, dan Florence, serta keluarga besar dari bapak dan ibu yang telah membantu memberi dukungan, doa, motivasi, nasehat dan materi untuk penulis selama masa studi dan penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Gerard Antonini Duma, ST., MT selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT dan Bapak Prof. Dr. Rustan Tarakka, ST., MT selaku dosen penguji pada penelitian kali ini, yang senantiasa memberikan saran, masukan, dan koreksi yang bersifat membangun sehingga penelitian ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik
1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



5. Bapak dan ibu dosen, serta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama masa studi.
6. Saudara seperjuangan ZTATOR 2020 yang selalu memberi dukungan dan kerjasama selama berproses baik dalam akademik maupun non-akademik.
7. Segenap keluarga KMKO Mesin terkhusus Reformed Faith yang selalu menyemangati dan menjadi tempat berbagi cerita bagi penulis.
8. Teman-teman, kakak senior seperjuangan di Laboratirium Mesin Fluida yang selalu membantu dan memberikan saran kepada penulis selama penelitian dan penulisan skripsi.
9. Teman-teman Pia Malango', BCT, RMT, Suluora' Cemara dan A6 yang selalu menjadi tempat pulang dan bercerita bagi penulis, serta menjadi saksi perjuangan penulisan skripsi dari awal hingga selesai.
10. Rekan-rekan PPGT Jemaat Tamalanrea yang telah memberikan dukungan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu penulis memohon maaf atas kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis juga bersedia menerima kritikan dan saran yang membangun agar penulisan selanjutnya lebih baik lagi.

Terakhir, harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada setiap orang yang membacanya.

Gowa, 6 Agustus 2024

Penulis



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Turbin air merupakan salah satu teknologi yang sangat penting dalam menghasilkan energi listrik dari sumber energi terbarukan. Listrik yang dikonsumsi oleh masyarakat sebagian besar diproduksi dari PLTU berbahan bakar batubara dan minyak bumi yang tergolong tidak terbarukan dan menghasilkan emisi yang cukup tinggi. Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memprioritaskan penggunaan energi terbarukan dengan target paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050 (Taufiqurrahman & Windarta, 2020).

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya air yang melimpah (Jasa dkk, 2017). Potensi energi air di Indonesia diperkirakan mencapai 94.449 MW. Potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTA 75.091 MW, sementara yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTM dan PLTMH mencapai 19.358 MW (Harsoyo dkk., 2015). Berdasarkan potensi energi baru dan terbarukan yang besar, maka pemerintah berkomitmen membuat perencanaan dan kebijakan agar penggunaan potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia lebih optimal sekaligus membantu mengurangi emisi dari berbagai sektor (Taufiqurrahman & Windarta, 2020).

Turbin air adalah mesin penggerak atau mesin konversi energi yang merubah energi potensial dari jatuh air menjadi energi kinetik ketika *nozzle* menyemprotkan air yang mengenai *bucket* kemudian diteruskan pada sistem transmisi sehingga menjadi energi mekanik (Wulandari dkk., 2017). Saat pancaran air bertekanan tinggi dari nosel mengenai turbin, menghasilkan putaran poros yang terhubung ke generator listrik yang kemudian menghasilkan tenaga listrik (Jasa dkk, 2017). Posisi jatuhnya air dapat mempengaruhi daya dan efisiensi turbin, dimana air yang mengenai sisi luar dan dalam dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi turbin karena hanya sebagian air yang mengenai sudu turbin (Butera et al., 2020).



Sudu pada turbin air diperlukan untuk menangkap energi kinetik dari aliran air untuk membuat *runner* berputar sehingga terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik. Sudu pada turbin dapat mempengaruhi kinerja yang dihasilkan pada turbin air. Beberapa hal pada sudu turbin yang mempengaruhi kinerja turbin yaitu bentuk sudu, jumlah sudu, sudut sudu, ukuran sudu, material yang digunakan, dan jarak tumbukan pada sudu. Bentuk sudu lengkung memiliki daya dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sudu datar dan mangkuk (Yani dkk., 2016).

Penelitian sebelumnya mengenai “Karakteristik Kinerja Turbin Nest-Lie Pada Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro”. Berdasarkan penelitiannya nilai tegangan dan arus maksimum diperoleh pada sudu turbin nest-lie dengan posisi nozzle 45° dan sudut nozzle 10° yaitu sebesar 0,1824 Volt dan 0,84 Ampere. Nilai torsi tertinggi juga diperoleh pada posisi nozzle 45° dan sudut nozzle 10° yaitu 0,0076 Nm (Nyoman Wira Mastika dkk., 2020).

Penelitian terdahulu yang berjudul “Perbandingan Karakteristik Kinerja Sudu Turbin Setengah Lingkaran dengan Turbin NEST-LIE pada Prototipe PLTMH”. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa turbin NEST-LIE memiliki karakteristik yang lebih baik dibanding turbin setengah lingkaran. Turbin NEST-LIE menghasilkan daya output tertinggi di posisi nozzle 45° dengan putaran turbin sebesar 342,4 rpm dan daya outputnya sebesar 0,1802 VA (Paramitha dkk., 2021).

Pada penelitian terdahulu tentang “Studi Analisis Pengaruh Perubahan Posisi Nozzle Terhadap Pout Pada Prototipe PLTMH”. Pada penelitian ini posisi nozzle dirancang dengan titik jatuhnya air di sudut 0° , 15° , 30° , 45° , 60° dan 75° . Dimana efisiensi tertinggi diperoleh pada posisi nozzle di sudut 60° sebesar 18% pada model sudu setengah lingkaran. Peneliti terdahulu berasumsi bahwa pada posisi nozzle di sudut 60° air yang jatuh dari nozzle dapat mengenai daerah paling aktif berputar pada kincir (Vika dkk., 2018).



Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka penulis melakukan penelitian dengan studi eksperimental yaitu “**Analisis Pengaruh Variasi Jarak Tumbukan Pada Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Arus Atas**”.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan antara lain :

1. Bagaimana menganalisis daya turbin air dengan lima sudu untuk variasi jarak tumbukan pada sudu.
2. Bagaimana menganalisis efisiensi turbin air dengan lima sudu untuk variasi jarak tumbukan pada sudu.
3. Bagaimana menganalisis kinerja terbaik turbin air dengan lima sudu pada beberapa jarak tumbukan pada sudu.

I.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, ada beberapa tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisis daya turbin air dengan lima sudu untuk variasi jarak tumbukan pada sudu.
2. Menganalisis efisiensi turbin air dengan lima sudu untuk variasi jarak tumbukan pada sudu.
3. Menganalisis kinerja terbaik turbin air dengan lima sudu pada beberapa jarak tumbukan pada sudu.

I.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Dalam penelitian ini menggunakan 5 jumlah sudu.
2. Sudu yang digunakan sudu lengkung dengan material pipa PVC
3. Poros yang digunakan horizontal menggunakan pipa PVC.
4. Menggunakan pembebanan sebesar 0,1 kg, 0,2 kg, 0,3 kg, 0,4 kg, 0,5 kg, 0,6 kg, 0,7 kg, 0,8 kg, 0,9 kg, 1 kg, 1,1 kg, 1,2 kg, dan 1,3 kg untuk mencari efisiensi turbin.

Debit dan *head* yang digunakan tetap (konstan).



I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Sebagai salah satu referensi tambahan riset konversi energi dengan memanfaatkan potensi energi air sebagai sumber energi terbarukan.
2. Sebagai referensi alternatif dalam merancang turbin air untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Pengertian Turbin Air

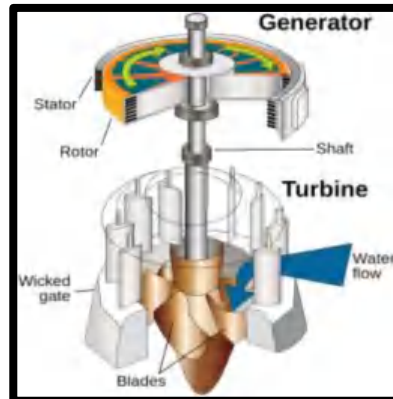
Turbin merupakan sebuah mesin penggerak yang memanfaatkan energi dari aliran fluida seperti air dan gas. Sedangkan turbin air merupakan turbin yang bekerja dengan menggunakan fluida air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Dalam hal ini air memiliki energi potensial yang akan menjadi mekanik untuk menggerakkan sudu turbin. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Dalam hubungan dengan *reservoir* air maka *head* adalah beda ketinggian antara muka air pada *reservoir* dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air (Fahdita, 2020).

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit energi terbarukan yang telah menjadi sumber energi listrik sejak akhir abad ke-19. Turbin air didasarkan pada konsep sederhana, dimana air yang bergerak memutar turbin, lalu turbin memutar generator, kemudian generator menghasilkan listrik (Bílková dkk., 2023). Turbin air memiliki fungsi yaitu merubah energi air yang meliputi energi potensial, tekanan, dan energi kinetik menjadi suatu bentuk energi mekanik yang berupa suatu putaran poros (Ridwan, 2014). Perbedaan utama antara kincir air dan turbin air adalah bahwa kincir air hanya mengubah kecepatan aliran, sedangkan turbin air mengubah arah dan kecepatan aliran (Padang dkk, 2014).

Tenaga air (*Hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Dalam hubungan dengan *reservoir* air maka *head* adalah beda



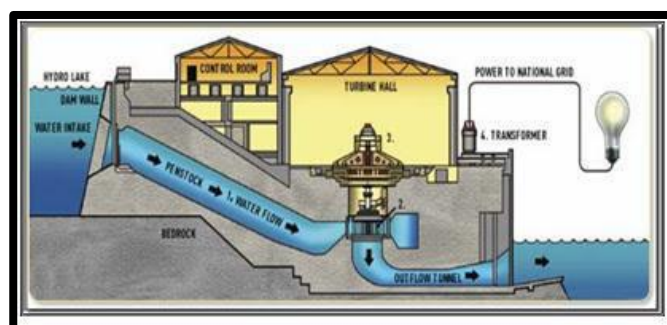
ketinggian antara muka air pada *reservoir* dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air (Irawansyah, 2017).



Gambar 1. Turbin Air
(Irawansyah, 2017)

II.2. Prinsip Kerja Turbin Air

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik (Basar dkk, 2024). Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh *nozzle*. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik (Fahdita, 2020).



Gambar 2. Skema Turbin Air
(Fahdita, 2020)



III.2.1. Komponen Turbin Air

Pada suatu turbin air terdapat beberapa komponen utama pada turbin hingga dapat menghasilkan daya yang dapat dirubah menjadi energi listrik,

komponen turbin yang paling utama dibagi menjadi 2 bagian, yaitu stator dan rotor.

II.3.1. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar pada sistem yang terdiri dari :

- Sudu-sudu adalah bagian yang berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan *nozzle*.
- Poros adalah bagian yang berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
- Bantalan adalah bagian yang berfungsi sebagai perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.

II.3.2. Stator

Stator adalah bagian yang diam pada sistem yang terdiri dari :

- Pipa pengarah/*nozzle* yang berfungsi untuk meneruskan aliran fluida.
- Rumah turbin berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen turbin (Fahdita, 2020).

II.4. Klasifikasi Turbin Air

Terdapat berbagai jenis turbin air yang digunakan untuk penyediaan kebutuhan energi listrik. Turbin air biasanya dikelompokkan berdasarkan kegunaan tertentu, kapasitas aliran dan tinggi air jatuh. Oleh karena itu turbin air diklasifikasikan berdasarkan beberapa cara, tapi secara umum turbin air dikelompokkan menurut tinggi air jatuh (*head*) dan juga prinsip kerja turbin tersebut merubah energi air menjadi energi puntir. Berdasarkan klasifikasi ini turbin air dibagi menjadi turbin impuls dan turbin reaksi.

II.4.1. Turbin Impuls

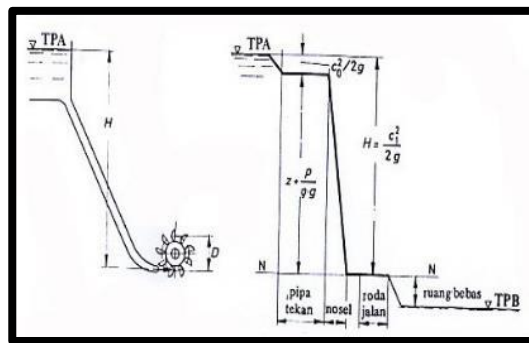
Turbin impuls disebut juga turbin tekanan sama atau turbin pancaran bebas karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Yang dimaksud turbin impuls adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan menjadi energi kecepatan dari pancaran air. Pancaran air akan membentur roda jalan turbin yang kemudian membalikkan arus air, sehingga menghasilkan perubahan pada daya



dorongan yang disebabkan oleh roda jalan turbin. Pada roda jalan turbin tidak terjadi perubahan tekanan. Sebelum pancaran air membentur roda jalan turbin, tekanan air (energi potensial) dikonversi ke tenaga gerak (energi kinetik) oleh nosel dan dipusatkan pada roda jalan turbin. Yang termasuk turbin impuls antara lain :

a. Turbin Pelton

Yang menjadi ciri khusus dari turbin ini adalah nosel dan sudu roda jalan yang dirancang khusus. Pancaran air yang keluar dari nosel dengan kecepatan tinggi menghantam sudu di tengah-tengah. Bentuk sudunya seperti dua mangkuk yang berdimensi sama besar yang berdampingan, Biasanya turbin ini diaplikasikan pada *head* turbin yang tinggi.

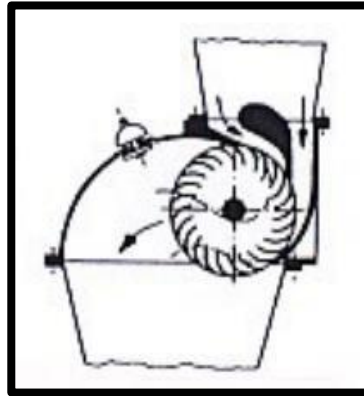


Gambar 3. Turbin Pelton
(Jaya, 2008)

b. Turbin Aliran Ossberger (Crossflow)

Turbin aliran Ossberger atau turbin crossflow terdiri dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel dan nosel. Pancaran air dialirkan dari nosel melewati sudu-sudu jalan yang berbentuk silinder, pertama-tama pancaran air dari nosel masuk ke turbin dan mengenai sudu-sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Pancaran air masuk turbin melalui bagian atas, memberikan energi ke sudu kemudian masuk ke bagian dalam turbin dan keluar melalui bagian bawah turbin. Turbin ini mempunyai 2 (dua) tingkat kecepatan mirip dengan turbin uap. Aliran air yang lewat tingkat ke-2 menghasilkan daya kurang lebih 20% dari daya yang dihasilkan dari tingkat pertama, air tanpa ada kesulitan bisa meninggalkan roda jalan.





Gambar 4. Turbin Crossflow
(Jaya, 2008)

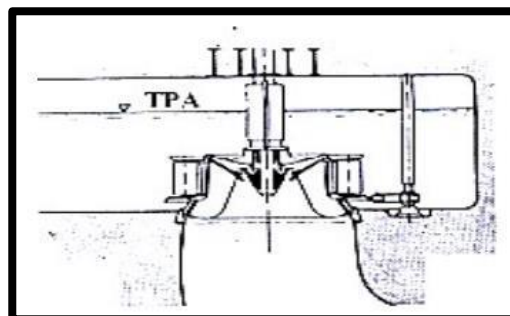
Perkembangan selanjutnya turbin ini mengalami modifikasi yang dilakukan oleh Michell yang berasal dari Australia dan Bangki yang berasal dari Honggaria, dengan menambahkan pipa hisap pada sisi keluar dari turbin. Dengan modifikasi ini meningkatkan efisiensi dari turbin ini. Turbin ini sangat cocok pada pembangkit tenaga air bersekala kecil.

II.4.2. Turbin Reaksi

Berbeda dengan turbin impuls, pada turbin reaksi terjadi perbedaan tekanan aliran air pada sisi masuk dan sisi keluar dari sudu jalan tersebut. Karena perbedaan tekanan kerja yang terjadi pada sisi masuk dan sisi keluar dari sudu jalan turbin maka turbin ini disebut turbin reaksi. Turbin air reaksi terdiri dari beberapa tipe, yaitu :

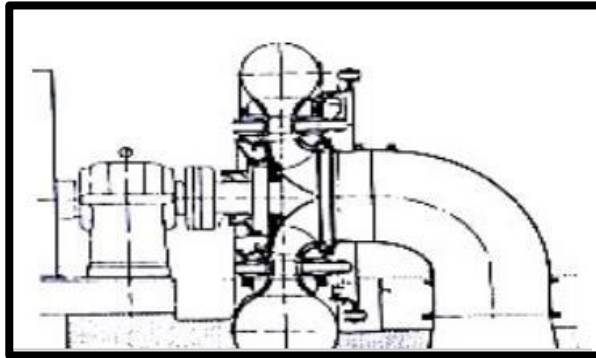
a. Turbin Francis

Turbin Francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh dapat bekerja disudu jalan dengan semaksimum mungkin.

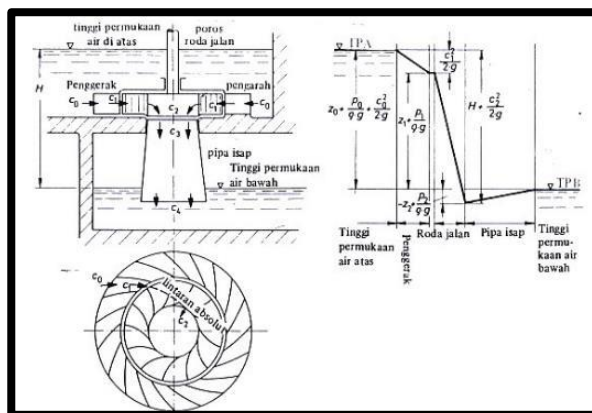


Gambar 5. Turbin francis tipe horisontal
(Jaya, 2008)





Gambar 6. Turbin francis tipe vertikal
(Jaya, 2008)



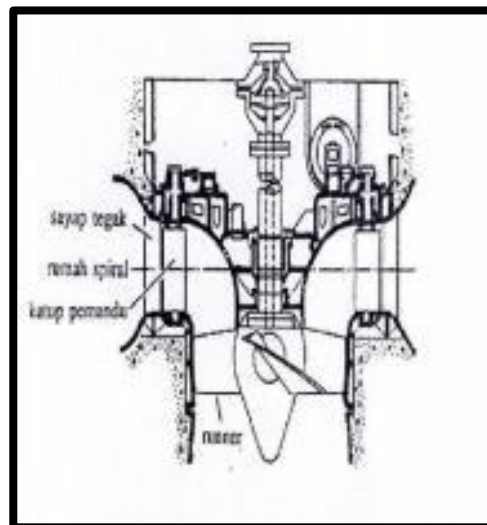
Gambar 7. Skema turbin francis dan headnya
(Jaya, 2008)

Pipa isap pada turbin ini mempunyai tugas yang mirip dengan sudu hantar yang terdapat pada pompa sentrifugal, yaitu mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan.

b. Turbin Propeller / Kaplan

Turbin jenis ini merupakan pengembangan dari turbin Francis, jika tinggi air jatuh semakin sedikit maka semakin sedikit belokan pada sudu jalan. Untuk memperbesar daya dengan *head* yang sedikit maka kapasitas aliran air harus besar yaitu dengan cara memperbesar luas dari penampang yang dilalui air (Jaya, 2008).





Gambar 8. Skema dua jenis turbin propeller, poros vertikal (kiri) dan poros horizontal (kanan)
(Jaya, 2008)

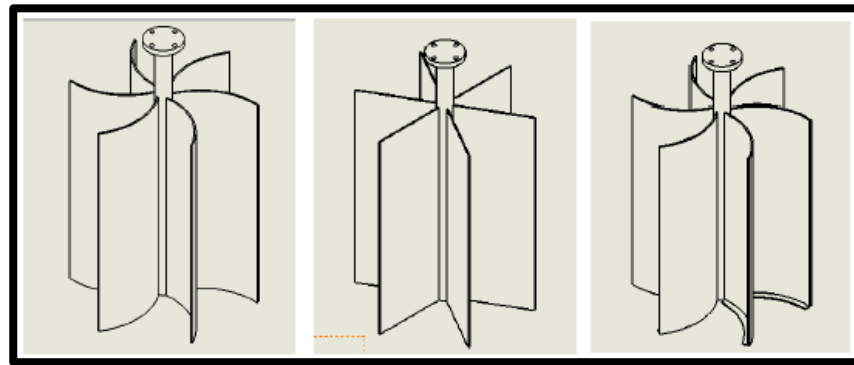
II.5. Sudu Turbin

Sudu pada roda turbin merupakan konstruksi yang berwujud lempengan dengan bentuk serta penampang tertentu, dimana air berfungsi sebagai fluida kerja mengalir melalui ruangan diantara sudu. Dengan hal tersebut tentunya roda turbin bisa berputar karena pada sudu memiliki gaya yang berputar. Sudu bermanfaat sebagai penerima beban dari pancaran yang telah di semprotkan oleh nosel dan berfungsi untuk mengubah kecepatan pada air menjadi kecepatan sudu yang memutar *runner* yang telah di kopel dengan suatu poros pada generator. Jumlah sudu dapat mempengaruhi kinerja turbin sehingga semakin banyak jumlah sudu maka daya yang dihasilkan juga makin besar dan efisiensi turbin akan meningkat (Siswadi & Nugroho, 2020).

Sudu yang berada di sekeliling runner memiliki fungsi untuk menangkap energi kinetik yang dihasilkan dari jatuhnya air di sudu sehingga berubah menjadi energi mekanik yang lalu runner akan mentransmisikan energi mekanik tersebut ke as generator sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik. Perubahan jumlah sudu dapat mempengaruhi putaran dan gaya sentrifugal dari turbin, sehingga turbin akan menghasilkan gaya yang lebih besar. Perlu diketahui bahwa jumlah sudu terbanyak tidak selalu mempengaruhi nilai efisiensi, tidak semua jumlah sudu terbanyak memegang



efisiensi tertinggi, efisiensi turbin juga ditentukan oleh debit aliran air, kurva geometris sudu, jumlah sudu yang benar dalam penggunaannya, dan lain-lain. Karena apabila debit air semakin besar dan sudu yang menangkap tidak optimal maka efisiensi turbin akan turun (Dewangga et al., 2022).



Gambar 9. Bentuk sudu turbin lengkung, lurus dan lengkung sirip.
(Prasetyo, 2018)

II.6. Kincir Air

Kincir air merupakan suatu alat mekanik berupa roda yang mempunyai bilah-bilah di sekeliling tepinya yang ditempatkan pada poros horizontal. Kincir air adalah suatu alat sederhana yang tujuannya mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Desain, jenis dan dimensi kincir air tergantung pada lokasi kincirnya, ketinggian jatuhnya air dan kapasitas air yang tersedia. Sehingga untuk memperoleh efisiensi optimal, perancangan kincir air yang beroperasi pada lokasi tertentu akan mempunyai desain yang spesifik, baik bentuk tipe maupun dimensinya yang berbeda-beda tiap lokasi (Sule dkk., 2024).

Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain energi tempat adalah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke dalam sel-selnya. Air yang mengalir ke dalam dan ke luar dari kincir tidak mempunyai tekanan lebih, hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir harus kecil, karena jika kecepatannya besar ketika melalui sel air akan tumpah ke luar sehingga energi air yang ada akan hilang tanpa dimanfaatkan oleh kincir air.

Sampai saat sekarang, penggunaan kincir air masih banyak ditemukan karena sifat-sifatnya yang murah, sederhana, serta mudah dan murah dalam



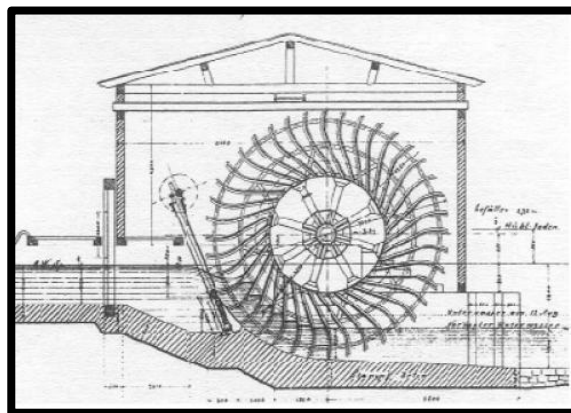
pembuatan dan perawatannya. Walaupun mempunyai banyak kekurangan dibandingkan dengan turbin air, teknologinya yang sangat sederhana ini cocok digunakan di daerah pedesaan yang terpencil, asalkan daerah tersebut memiliki potensi sumber tenaga air yang cukup terjamin (Morong, 2016).

II.7. Klasifikasi Kincir Air

Pada kincir air, air dapat mengenai permukaan kincir secara tangensial, di bawah, atau disekitar tinggi selubung yang sama. Berdasarkan fenomena tersebut kincir air dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu *overshot*, *undershot*, dan *breastshot* (Bachan dkk, 2019). Berikut adalah klasifikasi kincir air berdasarkan system aliran air pendorong :

a. *Undershot*

Kincir air *undershot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Berikut adalah kincir air tipe *undershot*.



Gambar 10. Kincir air tipe *undershot*
(Morong, 2016)

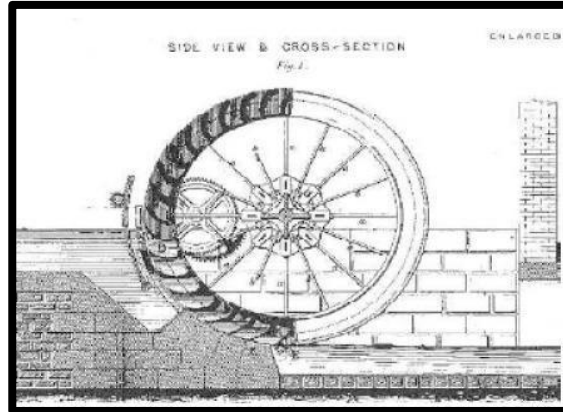
Kincir air *undershot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.

Breastshot

Kincir air *breastshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah kincir. Kincir air *breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot*



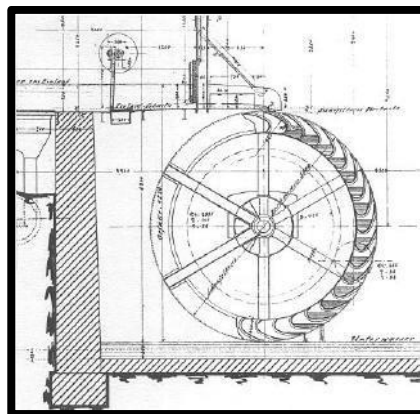
dilihat dari energi yang diterimanya. Arah aliran air yang menggerakkan kincir air searah putaran kincir. Berikut adalah kincir air tipe *breastshot*.



Gambar 11. Kincir air tipe *breastshot*
(Morong, 2016)

c. *Overshot*

Tipe *overshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir. Berikut adalah kincir air tipe *overshot*.



Gambar 12. Kincir air tipe *overshot*
(Morong, 2016)

Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir ke dalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain (Morong, 2016).



Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida (zat cair dan gas) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran fluida, akan

mengakibatkan penurunan tekanan pada fluida tersebut. Artinya akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut. Konsep dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan (*compressible flow*) dan pada fluida dengan aliran tak termampatkan (*incompressible flow*). Hukum Bernoulli sebetulnya dapat dikatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli. Secara matematis persamaan Bernoulli adalah sebagai berikut (Mujahid, 2021).

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H$$

II.9. Persamaan Yang Digunakan

Kinerja turbin air dapat diukur atau ditentukan melalui beberapa persamaan sebagai berikut :

a. Debit air (Q)

Debit air merupakan volume air yang dapat dialirkan per satuan waktu. Debit air dapat dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada masing-masing pipa eksperimen, dimana debit air dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Dimana :

Q= Debit air (m³/s)

V= Volume (m³)

t = Waktu (s)

b. Kecepatan aliran air (v)

Kecepatan aliran air adalah banyaknya air yang mengalir dengan kecepatan tertentu per satuan waktu. Kecepatan aliran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

v = Kecepatan aliran air (m/s)



Q = Debit air (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

c. Daya air (P_{air})

Daya air merupakan daya yang masuk ke dalam *nozzle*, yang besarnya dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{air} = Q \times \rho \times g \times H \quad (2.3)$$

Dimana :

P_{air} = Daya air (Watt)

Q = Debit air (m^3/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

H = *Head* aliran (m)

d. Torsi (τ)

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros turbin atau kemampuan turbin untuk melakukan kerja. Torsi biasanya diberi simbol τ . Untuk mencari nilai torsi dapat digunakan persamaan berikut :

$$\tau = F \times r = m \times g \times r \quad (2.4)$$

Dimana :

τ = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari pembebanan (m)

m = Massa (kg)

g = percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

e. Daya turbin (P_{turbin})

Daya yang dihasilkan oleh turbin diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{turbin} = \tau \times \omega \quad (2.5)$$

Dimana :

P_{turbin} = Daya turbin (Watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan putar (rad/s)



Untuk menentukan nilai kecepatan putar dapat digunakan persamaan berikut :

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (2.6)$$

Dimana :

ω = Kecepatan putar (rad/s)

π = Phi (3,14)

n = Jumlah putaran

f. Efisiensi turbin (η_{turbin})

Efisiensi turbin adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan pada poros turbin dengan daya yang diberikan oleh fluida (air). Efisiensi turbin menyatakan kemampuan turbin untuk mengubah energi fluida menjadi energi yang berguna pada poros turbin. Untuk mengetahui efisiensi turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Yasir dkk., 2022).

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{air}}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana :

η_{turbin} = Efisiensi turbin (%)

P_{turbin} = Daya turbin (Watt)

P_{air} = Daya air (Watt)

g. Kecepatan keluar (v_{out})

Rumus yang digunakan untuk mencari kecepatan keluar aliran air secara teoritis.

$$v_{\text{out}} = v_{\text{in}} + \omega \quad (2.10)$$

Dimana :

v_{out} = Kecepatan aliran air keluar (m/s)

v_{in} = Kecepatan aliran air masuk (m/s)

ω = Kecepatan putar turbin (m/s)

Untuk menentukan nilai kecepatan putar turbin dapat digunakan persamaan berikut :



$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n \times r}{60} \quad (2.11)$$

Dimana :

ω = Kecepatan putar turbin (m/s)

π = 3,14

n = Jumlah putaran turbin (rpm)

r = Jarak tumbukan (m)

