

**ANALISIS KINERJA TURBIN AIR ARUS ATAS PADA SEBELAS SUDU
DENGAN VARIASI HEAD TURBIN**



**MUHAMMAD FHADILAH AHMAD
D021 20 1019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS KINERJA TURBIN AIR ARUS ATAS PADA SEBELAS SUDU
DENGAN VARIASI HEAD TURBIN**

**Muhammad Fhadilah Ahmad
D021 20 1019**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
SULAWESI SELATAN
GOWA
2024**

**ANALISIS KINERJA TURBIN AIR ARUS ATAS PADA SEBELAS SUDU
DENGAN VARIASI HEAD TURBIN**

MUHAMMAD FHADILAH AHMAD
D021 20 1019

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI**ANALISIS KINERJA TURBIN AIR ARUS ATAS PADA SEBELAS SUDU
DENGAN VARIASI HEAD TURBIN****MUHAMMAD FHADILAH AHMAD****D021 20 1019**

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan panitia ujian pada 22 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT
NIP. 19560827 198503 1 001

Pembimbing Pendamping



Gerard Antonini Duma, ST., MT,
NIP.199202262019031009

Mengetahui,
Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fhadilah Ahmad
NIM : D021201019
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Turbin Air Arus Atas Sebelas Sudu
Dengan Variasi Head Turbin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasi sebelumnya atau ditulis oleh orang lain atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 13 Oktober 2024

buat pernyataan

Fhadilah Ahmad

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur senantiasa kita panjatkan ke-hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Kinerja Turbin Air Arus Atas Pada Sebelas Sudu Dengan Variasi Head Turbin” yang mana merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada

1. Kedua orang tua tercinta saya, Bpk. Ahmad dan Ibu Lingan Baharuddin yang selalu mendukung saya baik dari segi motivasi, saran, hingga materi yang mendorong saya untuk segera mungkin menyelesaikan tugas akhir saya
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan selama proses perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT dan Gerard Antonini Duma, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing pertama dan kedua saya yang telah sabar membimbing, memberikan waktu, arahan, dan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T. dan Prof. Dr. Ir. Rustan Tarakka, ST., MT. selaku penguji yang telah memberikan saran dan arahan dari awal hingga selesai selesainya proses skripsi ini.
5. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat dan pengalaman selama menempuh studi di dunia perkuliahan.
6. Teman-teman penelitian saya, saudara Kaleb, Keyear, dan Vhisan yang senantiasa membantu di penelitian saya.
7. Teman - teman Teknik Mesin angkatan 2020/ZTATOR 2020 yang senantiasa membantu, mendukung, dan berjuang bersama sejak mahasiswa baru hingga saat ini.
8. Serta seluruh pihak yang telah membantu yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

ABSTRAK

Ketersediaan energi listrik sudah merupakan keharusan bagi keberlanjutan pembangunan setiap negara. Energi listrik adalah merupakan kebutuhan primer dan telah hampir menyamai tingkat kebutuhan terhadap sandang, pangan dan papan. Energi air dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Dalam perancangan ini data-data yang diperlukan dapat diperoleh melalui observasi secara langsung di laboratorium berdasarkan objek yang akan dirancang dalam hal ini ialah turbin air overshoot sebelas sudu dengan bentuk sudu lengkung. Pada grafik dilihat semakin tinggi head maka semakin tinggi juga daya turbin yang didapat, dari persamaan 2.6 daya turbin dipengaruhi oleh torsi dan kecepatan sudut, akibat besarnya torsi yang dihasilkan seiring bertambahnya head sehingga daya yang dihasilkan oleh putaran turbin juga akan bertambah. Pada grafik dilihat semakin tinggi head maka semakin rendah efisiensi turbin yang didapat, hal itu dipengaruhi oleh kemampuan turbin untuk mengkonversi energi potensial air yang ada pada saat ketinggian head ditambah. selain itu semakin tinggi head maka semakin rendah efisiensi turbin yang didapat, hal itu dipengaruhi oleh kemampuan turbin untuk mengkonversi energi potensial air yang ada pada saat ketinggian head ditambah. pada kesimpulan yang didapat dinyatakan, Kinerja turbin terbaik yang dapat dihasilkan pada penelitian ini yaitu pada head 1 dengan pembebanan 1,1 kg yang menghasilkan efisiensi sebesar 38,172 %.

ABSTRAC

The availability of electrical energy is a must for the sustainability of development in every country. Electrical energy is a primary need and has almost equaled the level of need for clothing, food and shelter. Water energy can be utilized as a power plant by utilizing the available potential energy (waterfall potential and flow velocity). In this design, the required data can be obtained through direct observation in the laboratory based on the object to be designed in this case is an eleven-blade overshoot water turbine with a curved blade shape. In the graph, the higher the head, the higher the turbine power obtained, from equation 2.6, turbine power is influenced by torque and angular velocity, due to the magnitude of the torque produced as the head increases so that the power generated by the turbine rotation will also increase. In the graph, the higher the head, the lower the turbine efficiency obtained, this is influenced by the turbine's ability to convert the potential energy of the water that exists when the head height is increased. In addition, the higher the head, the lower the turbine efficiency obtained, this is influenced by the turbine's ability to convert the potential energy of the water when the head height is increased. The conclusion obtained states that the best turbine performance that can be produced in this study is at head 1 with a load of 1.1 kg which produces an efficiency of 38.172%.

DAFTAR ISI

SAMPUL	
SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRAC	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	14
I.1 Latar Belakang	14
I.2 Rumusan Masalah.....	15
I.3 Tujuan Penelitian	15
I.4 Batasan Masalah	15
I.5 Manfaat Penelitian	16
BAB II LANDASAN TEORI	17
II.1 Potensi Air.....	17
II.2 Turbin Air.....	17
II.2.1 Definisi Turbin	17
II.2.2 Prinsip Kerja Turbin Air.....	18
II.2.1 Prinsip Kerja Turbin Pelton	18
II.2.2 Komponen Turbin Air	20
II.2.3 Klasifikasi Turbin Air.....	20
II.2.4 Jenis Turbin Air	23
II.3 Sudu Turbin	24
II.4 Kincir Air	24
II.5 Persamaan Bernoulli	26
II.6 Persamaan Yang Digunakan	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
III.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	30
III.2 Objek Penelitian.....	30
III.3 Tahapan Penelitian.....	30
III.4 Prosedur Pengambilan Data.....	30
III.5 Alat dan Bahan.....	31
III.5.1 Alat.....	31
III.5.2 Bahan.....	33
III.6 Spesifikasi Alat.....	34
III.7 Rancangan Turbin.....	35
III.8 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
IV.1 Hasil.....	38
IV.1.1 Contoh Perhitungan Eksperimen.....	38
IV.2 Pembahasan.....	52
IV.2.1 Hubungan antara beban dengan putaran poros.....	52
IV.2.2 Hubungan antara beban dengan efisiensi turbin.....	53
IV.2.3 Hubungan antara beban dengan daya turbin.....	53
IV.2.4 Hubungan antara head dengan putaran turbin.....	54
IV.2.5 Hubungan antara head dengan kecepatan sudut.....	54
IV.2.6 Hubungan antara head dengan daya turbin.....	55
IV.2.7 Hubungan antara head dengan efisiensi turbin.....	55
IV.2.8 Hubungan antara daya turbin dan efisiensi turbin.....	56
BAB V.....	58
PENUTUP	58
V.1 Kesimpulan.....	58
V.2. Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Prinsip kerja turbin pelton	19
Gambar 2. Turbin Pelton	21
Gambar 3. Turbin Air Crossflow	21
Gambar 4. Turbin Air Francis	22
Gambar 5. Turbin Air Kaplan.....	23
Gambar 6. Grafik Perbandingan Karakteristik Turbin	23
Gambar 7. Kincir Air Overshoot	25
Gambar 8. Kincir Air Undershoot	26
Gambar 9. Kincir Air Breadshoot.....	26
Gambar 10. Aliran Melalui filamen arus	26
Gambar 11. Gergaji Besi	31
Gambar 12. Meteran	31
Gambar 13. Bearing	31
Gambar 14. Timer	32
Gambar 15. Neraca Pega	32
Gambar 16. Tachometer	32
Gambar 17. Beban	32
Gambar 18. Pompa	33
Gambar 19. Drum Air	33
Gambar 20. Pulley.....	33
Gambar 21. Pipa PVC	34
Gambar 22. Talang Air	34
Gambar 23. Resin	34
Gambar 24. Instalasi Alat 3 Dimensi	35
Gambar 25. Dimensi Instalasi Alat	35
Gambar 26. Turbin 3 dimensi.....	36
Gambar 27. Dimensi Turbin	36
Gambar 28. Grafik hubungan antara beban dan putaran turbin dengan variasi head	43
Gambar 29. Grafik hubungan antara beban dan efisiensi turbin dengan variasi head	44
Gambar 30. Grafik hubungan antara beban dan efisiensi turbin dengan variasi head	45
Gambar 31. Grafik hubungan antara head dengan putaran turbin menggunakan tingkat pembebanan.....	47
Gambar 32. Grafik hubungan antara head dengan putaran turbin menggunakan tingkat pembebanan.....	48
Gambar 33. Grafik hubungan antara head dengan daya turbin menggunakan tingkat pembebanan.....	49

Gambar 34. Grafik hubungan antara head dengan efisiensi turbin menggunakan tingkat pembebanan.....	50
Gambar 35. Grafik hubungan antara daya dan efisiensi turbin	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hubungan antara beban dan putaran turbin dengan variasi head.....	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 2. Hubungan antara beban dan putaran turbin dengan variasi head.....	43
Tabel 3. Hubungan antara beban dan daya turbin dengan variasi head	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 4. Hubungan antara head dan putaran turbin dengan tingkat pembebanan	46
Tabel 5. Hubungan antara head dan kecepatan sudut dengan tingkat pembebanan	47
Tabel 6. Hubungan antara head dan daya turbin dengan tingkat pembebanan ...	48
Tabel 7. Hubungan antara head dan efisiensi turbin dengan tingkat pembebanan	50
Tabel 8. Hubungan antara daya dan efisiensi turbin dengan tingkat pembebanan	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Pengamatan Pengujian	61
Lampiran 2. Tabel Hasil Perhitungan	63
Lampiran 3. Tabel Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan	66
Lampiran 4. Tabel Densitas Air Berdasarkan Temperatur (Pell & Dunson, 1997)	69
Lampiran 5. Dokumentasi	70

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>reservoar</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 _{turbin}	Daya turbin	Watt
15	ω	Kecepatan putar	rad/s
16	n	Jumlah putaran	rpm
17	η	Efisiensi turbin	%

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi listrik sudah merupakan keharusan bagi keberlanjutan pembangunan setiap negara. Energi listrik adalah merupakan kebutuhan primer dan telah hampir menyamai tingkat kebutuhan terhadap sandang, pangan dan papan. Karenanya setiap negara berlomba untuk membangun pembangkit tenaga listrik yang bersesuaian dengan kondisi geografis dan sumber daya alam yang tersedia (Muis, 2010).

Pada tahun 2009, pembangkit listrik tenaga air menyumbang sekitar 16% (sekitar 3551 TWh/a) dari total global pembangkit listrik dan telah mencapai 26% dari total kapasitas terpasang untuk pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air global telah tumbuh dengan stabil rata-rata sekitar 2,3% per tahun sejak itu 1980 sementara Uni Eropa melaporkan peningkatan hingga 3,1% per tahun untuk Uni Eropa. Rata-rata global Tingkat pertumbuhan pembangkit listrik tenaga air di masa depan diperkirakan akan terus berlanjut di kisaran 2,4–3,6% pertahun antara 1990 dan 2030 (hamududu dkk.2012). Indonesia termasuk Negara kepulauan terbesar didunia dengan luas perairan yang dimiliki sekitar 2/3 dari total keseluruhan yang dimiliki. Hal ini sangat memenuhi indonesia untuk menghasilkan energi terbarukan yaitu energi air. Secara nasional, ketersediaan air di indonesia mencapai 694 milyar meter kubik pertahun yang dapat dimanfaatkan, namun faktanya saat ini baru sekitar 23% yang telah dimanfaatkan, Dari 23% tersebut hanya sekitar 20% yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan kota dan industri, selebihnya 80% dimanfaatkan untuk kebutuhan irigasi (Makhsud dkk, 2018).

Kondisi topografi Indonesia yang bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai (besar dan kecil) dan di beberapa daerah tertentu terdapat danau dan atau waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi air. Energi air dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Hal ini menyebabkan Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti tidak merusak lingkungan, menunjang diverifikasi energi sebagai pemanfaatan energi terbarukan, menunjang program pengurangan penggunaan BBM, dan sebagian besar konstruksinya menggunakan material local (Richard, 2013).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fitrawansyah, dkk, pada Tahun 2022 Yang Berjudul “Analisis Pengaruh Debit Air Dan Ketinggian Air Terhadap Besar Daya Yang Dihasilkan Oleh Pltmh Tepal I Pada Saat Musim Kemarau”. Dari hasil analisis pengukuran dan perhitungan berdasarkan debit air pada musim kemarau dan tinggi jatuh efektif PLTMH Tepal I Membangkitkan daya sebesar 21,458 Kw. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Syarif dkk,

pada tahun 2019 yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Pelton Sumber Daya Head Potensial”, penelitian ini menggunakan turbin jenis pelton dengan mendapat hasil penelitian yaitu kinerja prototipe dengan mengkaji dari nilai efisiensi kerja turbin, terdapat pada beda ketinggian 1,8 m, pada bukaan katup full atau debit aliran 140,5 LPM dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan nilai efisiensi turbin sebesar 49,37. Terakhir penelitian dari Auzan dkk, yang berjudul “Analisis Tinggi Jatuh Air (Head) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro”, penelitian ini menggunakan jenis turbin pelton dan menggunakan generator DC untuk menghitung daya mekanisnya. Hasil akhir penelitian ini yaitu Pada Head Actual 6,6 meter dengan Head Effektiv 4,4 meter menghasilkan debit air 0,000796 m³/s, daya turbin 27,499 Watt dan daya Micro Hydro 24,749 Watt.

Berdasarkan penejelasan diatas, maka penulis melakukan penelitian studi **“Analisis Kinerja Turbin Air Arus Atas Pada Sebelas Sudu Dengan Variasi Head Turbin”**

I.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis daya turbin air arus atas dengan sebelas sudu bersusun dengan variasi head turbin.
2. Bagaimana menganalisis efisiensi turbin air arus atas dengan sebelas sudu bersusun dengan variasi head turbin.
3. Bagaimana menganalisis kinerja turbin air arus atas dengan sebelas sudu bersusun dengan variasi head turbin.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis daya turbin air arus atas dengan sebelas sudu bersusun dengan variasi head turbin.
2. Untuk menganalisis efisiensi turbin air arus atas dengan sebelas sudu bersusun dengan variasi head turbin.
3. Untuk menganalisis kinerja turbin air arus atas dengan sebelas sudu bersusun dengan variasi head turbin.

I.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Dalam penelitian ini menggunakan 11 jumlah sudu.
2. Poros yang digunakan yaitu poros horizontal.
3. Menggunakan sudu lengkung dengan material sudu 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.
5. Head aliran diatur menggunakan ketinggian air di drum air.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Agar dapat mengoptimalkan energi air melalui turbin air arus atas 11 sudu.
2. Sebagai referensi untuk dilakukannya penelitian yang sama tentang pemanfaatan energi air dengan menggunakan turbin air arus atas 11 sudu.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Potensi Air

Air Merupakan sumber energi yang murah dan relative mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial dan energi kinetik. Tenaga air (Hydropower) adalah energi yang diperoleh air yang mengalir. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air disungai (Sahbana dan Anam, 2019) Tenaga air adalah salah satu sumber energi terbarukan terkenal yang digunakan untuk menghasilkan listrik di banyak daerah di dunia. Pada tahun 2012, PLTA berkontribusi 16,2% terhadap Total pembangkit listrik global (Mizanur dkk.2016).

II.2 Turbin Air

II.2.1 Definisi Turbin

Turbin air dapat didefinisikan sebagai turbin dengan media kerja air. Secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap (stationary blade), tidak ikut berputar bersama poros dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar (rotary blade), mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Putaran poros ini dapat dimanfaatkan untuk memutar generator sebagai pembangkit tenaga listrik (Gusti dkk, 2020).

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. Dalam proses aliran di dalam pipa energy potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air dirubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar turbin (Muis, 2010). Dalam konteks head yang sangat rendah, biaya dan dampak lingkungan mesin gravitasi (misalnya, kincir air dan sekrop Archimedes) lebih rendah daripada Kaplan dan Francis yang sangat rendah Turbin. Selanjutnya, alat desain kepala rendah Kaplan dan Francis Turbin sebagian besar telah dikembangkan untuk kondisi kepala tinggi. Namun, mesin gravitasi terbatas dalam kapasitas laju aliran: aliran maksimum yang dapat dibuang oleh sekrop Archimedes adalah $8 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan diameter 4 m, sedangkan kincir air umumnya dapat mengeksploitasi aliran tarif di bawah $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ lebar per meter (Emanuele, 2022).

Meskipun sebagian besar potensi pembangkit listrik tenaga air sudah digunakan, masih ada investasi stabil dalam tenaga air, dan kapasitas terpasang terus meningkat Selain itu, meningkatkan, meningkatkan, dan merenovasi pembangkit listrik yang lebih tua adalah kesempatan untuk secara signifikan meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas mereka dan mengurangi operasi dan biaya pemeliharaan (Bilkova dkk, 2023). Efisiensi

merupakan pertimbangan penting dalam desain turbin hidro. Turbin aliran silang adalah turbin hidro termurah dan termudah untuk diproduksi dan biasanya digunakan dalam daya jarak jauh sistem untuk negara berkembang (David dkk, 2017)

II.2.2 Prinsip Kerja Turbin Air

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. 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 mengubahnya menjadi energi listrik (Saputra, A. 2018). Turbin hidrokinetik sumbu vertikal adalah jenis teknologi energi terbarukan yang dirancang untuk memanfaatkan daya air yang mengalir, seperti sungai atau arus pasang surut, untuk menghasilkan listrik. Turbin sumbu vertikal memiliki rotornya sumbu tegak lurus terhadap arah aliran fluida, yang memungkinkan mereka menangkap energi dari arus air atau aliran udara yang datang dari segala arah. Turbin ini seringkali lebih kompak dan dapat dipasang dalam berbagai lingkungan air, sehingga cocok untuk lokasi dengan pola aliran variable (sebnem dkk, 2024).

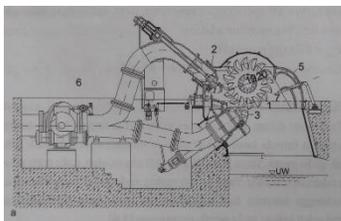
II.2.1 Prinsip Kerja Turbin Pelton

Turbin Pelton adalah turbin impuls yang dipakai untuk tinggi air jatuh yang besar. Aliran fluida kerja dalam pipa akan keluar dengan kecepatan tinggi air jatuh (h) melalui nosel. Tekanan air diubah menjadi kecepatan, pancaran air dalam akan mengenai bagian tengah – tengah sudu dan sesuai dengan perimbangan tempatnya air pancar akan belok dan ada kemungkinan membaliknnya air bisa diarahkan tegak lurus. Turbin Pelton adalah turbin dengan kecepatan spesifik yang relatif rendah dan dengan menggunakan tinggi air jatuh yang sangat besar serta kapasitas air yang kecil dibandingkan dengan turbin jenis yang lain (Irawan, 2014).

Satu atau lebih jet air yang berasal dari beberapa nosel (maksimum 6 nossal) membentur sudu-sudu berupa mangkok dari sisi masuk ke sisi keluar, sehingga menghasilkan gaya yang menghasilkan momen putar pada poros. Semua head yang tersedia diubah menjadi energi kinetic didalam nossal, dan semua energi kinetic setelah meninggalkan sudu “hilang” (tidak dapat dimanfaatkan). Karena itu perencanaan sudu sebaik mungkin untuk meminimum kecepatan keluar.

Turbin pelton memiliki putaran spesifik yang rendah. Putaran spesifik dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah nossal, dimana putaran spesifik bertambah dengan akan jumlah nossal atau dengan memasang miring nossal, sehingga jet air dapat membentur beberapa sudu.

Keuntungan turbin pelton dapat beroperasi dengan efisien yang hampir konstan pada beban yang berubah-ubah. Hal ini disebabkan katup jarum pengatur dapat menghasilkan debit yang bervariasi pada kecepatan jet yang tetap, sehingga kecepatan relatif pada seksi masuk dan keluar tidak berubah (Himran, 2017).



Gambar 1. Prinsip kerja turbin pelton, Bagian turbin:(1 Sudu gerak, 2 Nosel, 3 Deflektor, 5 Rumah Turbin, 6 Bantalan)

Sumber: (Himran, 2017)

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nozzle. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil.

Pipa pesat (*Penstock*) sebagai saluran yang ditempatkan berdasarkan perbedaan ketinggian input dan output atau elevasi yang terhubung langsung dengan turbin dimana pada output pipa penstock dipasang nosel untuk menambah tekanan air jatuh. Pipa pesat (*penstock*) adalah saluran yang digunakan untuk mengalirkan air dari sumber air atau dari tangki penampung (*head race water*) ke rumah turbin. Tangki Penampung (*reservoir tank*). Pipa pesat (*penstock*) adalah saluran yang digunakan untuk mengalirkan air dari sumber air atau dari tangki penampung (*head race water*) ke rumah turbin.

Adapun kelebihan dan kekurangan turbin pelton diantaranya:

a. Kelebihan:

1. Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber daya air dengan debit yang kecil, namun hanya memiliki head yang tinggi.
2. Pengembangan PLTMH dengan turbin pelton, daya yang dihasilkan besar dari pembangkitan.
3. Kontruksi yang digunakan dalam pengembangan pembangkit ini sederhana.
4. Mudah dalam perawatannya.
5. Teknologi yang digunakan sederhana dan mudah diterapkan di daerah terisolir.

b. Kelemahan:

1. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak (Saputra dkk. 2020)

II.2.2 Komponen Turbin Air

Komponen-komponen utama pada turbin air terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar pada sistem turbin air. Stator merupakan bagian yang diam pada turbin air.

a. Bagian Rotor:

1. Sudu-sudu, berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh nozzle.
2. Poros berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
3. Bantalan berfungsi sebagai perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.
4. Runner berfungsi untuk merubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik.

b. Bagian Stator:

1. Pipa pengarah/*nozzle* berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan aliran fluida yang digunakan di dalam sistem besar.
2. Rumah turbin berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen dari turbin (Hariyanto, 2016).

II.2.3 Klasifikasi Turbin Air

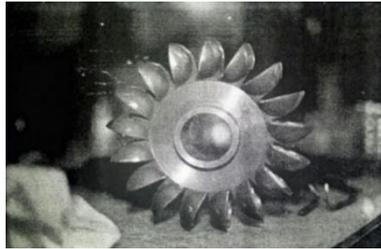
Berdasarkan bentuk, turbin air dibagi atas turbin impuls dan turbin reaksi.

a. Turbin Impuls

Turbin impuls disebut dengan turbin air tekanan sama karena tekanan air yang keluar dari nozzle tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Sehingga energi potensial dan tekanan yang dimiliki oleh air dirubah semuanya menjadi energi kecepatan. Ada beberapa jenis turbin air yang termasuk turbin impuls, antara lain: Turbin pelton dan Turbin Cross Flow (Aryono, T. 2019).

1. Turbin Pelton

Turbin ini ditemukan sekitar 1880 oleh Pelton dari negara Amerika. Turbin Pelton merupakan turbin impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozzle. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang tepat digunakan untuk head tinggi (Aryono, 2019).



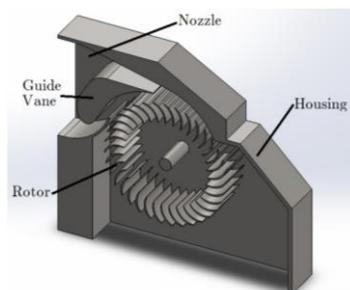
Gambar 2. Turbin Pelton

Sumber: (Aryono, 2019)

Turbin Pelton (atau roda Pelton turbin) adalah jenis turbin yang biasa digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air tanaman dan dalam berbagai aplikasi pemulihan energi. Bisa jadi juga digambarkan sebagai turbin air tipe impuls. Dalam dorongan turbin, total kepala air yang tersedia pertama-tama diubah menjadi energi kinetik dan kemudian diubah menjadi energi mekanik (Omar dkk, 2021). Turbin Pelton telah menjadi turbin hidrolik tipe impuls yang terbukti dan canggih selama lebih dari satu abad. Namun, masih ada beberapa ruang untuk perbaikan lebih lanjut dari desain turbin hidrolik Pelton bagian aliran. Sebagai salah satu turbin impuls paling efisien, turbin Pelton banyak digunakan di pembangkit listrik tenaga air kepala tinggi (HPP) dan aplikasi lain untuk memulihkan energi bertekanan tinggi (Zhonghua dkk, 2024)

2. Turbin Aliran Ossberger (Crossflow)

Turbin jenis impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki. Turbin ini mengalami modifikasi oleh Michell berasal dari Australia dan Banki berasal dari Honggaria. Selain itu juga disebut Turbin Ossberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin cross flow. Turbin Crossflow dapat digunakan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³/sec dan head antara 1 s/d 200 m (Aryono, 2019).



Gambar 3. Turbin Air Crossflow

Sumber: (Goodarz dkk, 2019)

b. Turbin Reaksi

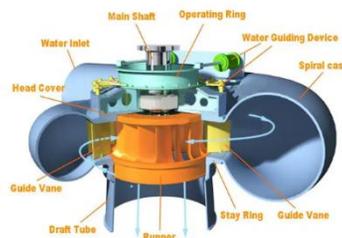
Turbin reaksi adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi putar dengan runner turbin sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin jenis ini digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Francis dan turbin Kaplan (Gusti dkk, 2020)

Turbin Reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin (Sugeng, 2012).

Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin reaksi terdiri dari turbin Francis dan Kaplan (Sugeng, 2012).

1. Turbin Francis

Turbin francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi dibagian masuk dan air bertekanan rendah dibagian keluar. Turbin francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara linear. Sudu pengarah pada turbin francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudunya (Aryono, 2019).



Gambar 4. Turbin Air Francis

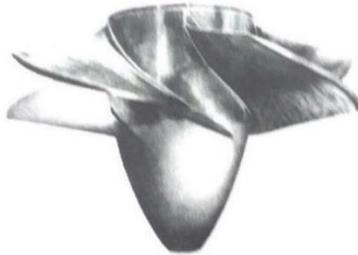
Sumber: (Gusti dkk, 2020)

Komponen terpenting dari hidrolis tipe Francis Turbin adalah runner, yang mengontrol pembangkit listrik dan karakteristik kavitasasi. Cairan komputasidinamika (CFD) telah menjadi alat yang efektif untuk

menganalisis aliran fluida selama beberapa dekade terakhir, terutama pada mesin turbo (celebioglu, 2016).

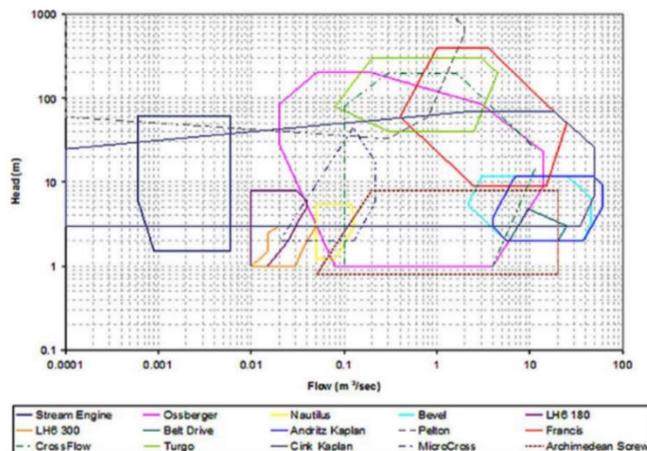
2. Turbin Kaplan/Propeller

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



Gambar 5. Turbin Air Kaplan

Sumber: (Saputra, A, 2018)



Gambar 6. Grafik Perbandingan Karakteristik Turbin

Sumber: (Mafrudin & Irawan, 2020)

II.2.4 Jenis Turbin Air

Turbin air dapat digolongkan menjadi dua yaitu turbin air berdasarkan model aliran air masuk runner dan berdasarkan bentuknya. Berikut ini akan diuraikan klasifikasi jenis turbin air.

a. Berdasarkan arah aliran

Berdasarkan model aliran air masuk runner, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu

1. Aliran Aksial

Turbin aksial adalah turbin dimana arah aliran fluida kerja diperoleh dalam arah sejajar sumbu poros. Pada turbin ini air masuk runner dan keluar runner sejajar dengan poros runner, Turbin Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini. Turbin aliran aksial adalah turbin yang paling banyak digunakan dengan menggunakan fluida kompresibel. Turbin aksial adalah turbin dengan arah uapnya mengalir sejajar terhadap sumbu turbin (*shaft*). Pada proses ekspansinya turbin ini dapat dibedakan menjadi Turbin impuls dan turbin reaksi. Prinsip Kerja Turbin Aliran Aksial adalah, Pada turbin ini, air masuk runner dan keluar runner sejajar dengan poros, contohnya turbin kaplan dan propeller (Wiranto, 2021).

2. Aliran Radial

Turbin aliran radial adalah turbin yang arah alirannya tegak lurus dengan arah putaran poros turbin. Kelompok turbin ini posisi air masuk runner dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner mengakibatkan runner berputar, contohnya turbin pelton dan turbin cross flow. Turbin dengan aliran tegak lurus dengan arah putaran poros turbin (Wiranto, 2021).

II.3 Sudu Turbin

Sudu adalah suatu komponen dari turbin yang penting dan berguna sebagai mengubah energi kinetik aliran fluida menjadi energi gerak putar atau aliran fluida masuk ke dalam turbin lalu menyentuh blade rotor turbin hasil dari adanya fluida kerja (air, angin, uap, dll). Dengan adanya fluida maka akan menghasilkan konversi energi yaitu potensial menjadi kinetik, mengubah kinetik menjadi mekanik. Perlu adanya komposisi dari blade turbin yang sesuai dengan fluida kerja yang menggerakkan sesuai variasi yang sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan rotor turbin (Suanggana dkk, 2021).

II.4 Kincir Air

II.4.1 Definisi Kincir Air

Kincir air adalah peralatan mekanis berbentuk roda dengan sudu (bucket atau vane) pada sekeliling tepi- tepinya yang diletakkan pada poros horizontal. Kincir air memanfaatkan selisih ketinggian alamiah dari permukaan sungai kecil. Air yang masuk ke dalam dan keluar kincir tidak mempunyai tekanan lebih (*over pressure*). Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain energy tempat adalah pengaruh berat air yang masuk ke dalam sel - selnya . kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir harus kecil, sebab bila kecepatannya besar ketika melalui sel air akan melimpah ke luar atau energy yang ada akan hilang percuma tidak bisa di manfaatkan airnya berolak. Meskipun kincir air sudah usang, tapi pada kondisi yang

tertentu dimana kemungkinan – kemungkinan lainnya tidak ada, kincir air merupakan salah satu pilihan untuk digunakan (Aliah & Kimin, 2018).

II.4.2 Prinsip Kerja Kincir Air

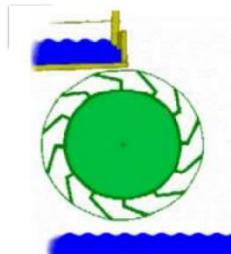
Air mengalir dengan kecepatan tertentu sehingga menabrak sudu pada kincir dimana gaya dorong air tegak lurus dengan penampang sudu. Dengan gaya dorong tersebut maka kincir berputar searah dengan gaya dorong air. Kincir air yang berputar menyebabkan poros juga ikut berputar. Poros ini di hubungkan dengan generator dengan beberapa transmisi daya. Transmisi daya ini berfungsi untuk merubah kecepatan putaran yang di dihasilkan oleh kincir air sehingga dapat menggerakkan generator. Transmisi daya tersebut berupa roda gigi (gear). Dengan adanya rangkaian tersebut maka kincir air yang berputar dapat menggerakkan generator sehingga mekanik di ubah menjadi energi listrik. Generator di hubungkan langsung dengan lampu akan menyala apabila kincir air berputar (Aliah & Kimin, 2018).

II.4.3 Klasifikasi Kincir Air

Air merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi mekanik berupa putaran pada poros kincir. Ada beberapa kincir air yaitu:

a. Kincir Air Overshoot

Kincir air overshoot bekerja jika air yang mengalir jatuh ke arah sudu sudu sisi bagian atas, karena gaya berat air roda kincir akan berputar. Kincir air tipe overshoot adalah kincir yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain (Sihaloho, 2017).



Gambar 7. Kincir Air Overshoot

Sumber: (Aliah & Kimin, 2018)

b. Kincir Air Undershoot Kincir Air Overshoot

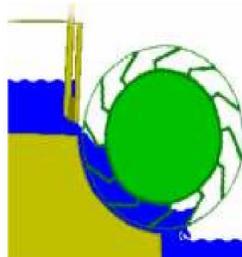
Kincir air undershoot bekerja bila air yang mengalir kemudian menghantam dinding sudu pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe undershoot tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head. Tipe ini cocok diletakkan pada perairan dangkal atau daerah yang datar (Sihaloho, 2017).



Gambar 8. Kincir Air Undershoot
Sumber: (Aliah & Kimin, 2018)

c. Kincir Air Breadshoot

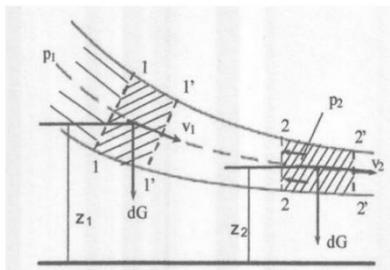
Kincir air Breadshot merupakan perpaduan antara tipe overshot dan undershot dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air (Aliah & Kimin, 2018).



Gambar 9. Kincir Air Breadshoot
Sumber: (Aliah & Kimin, 2018)

II.5 Persamaan 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*).



Gambar 10. Aliran Melalui filamen arus
Sumber: (Mursadin, 2009)

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.6 Persamaan Yang Digunakan

1. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran adalah jarak yang ditempuh aliran air pada saluran dalam satuan waktu. Perhitungan kecepatan aliran dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.1)$$

Keterangan :

v = Kecepatan Aliran Air (m/s)

s = Jarak Tempuh (m)

t = Waktu (s)

2. Debit Air (Q)

Debit air diartikan sebagai volume air yang mengalir setiap detik (m^3/s). Perhitungan debit air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = A \cdot v \quad (2.2)$$

Keterangan :

Q = Debit Air (m^3/s)

A = Luas penampang basah sungai (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

3. Torsi (τ)

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros turbin atau kemampuan untuk melakukan kerja. Torsi biasa diberi symbol τ . Pengukuran torsi menggunakan torsimeter statik. Stuan torsi adalah pounds-feet atau kilometer force-meter (kgf.m), dalam satuan british adalah ft.lb sedangkan SI yaitu N.m Perhitungan debit air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\tau = F \cdot r = m \cdot g \cdot r \quad (2.3)$$

Keterangan :

τ = Torsi (Nm)
 F = Gaya (N)
 r = Jari-jari pembebanan (m)
 m = Massa (kg)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

4. Kecepatan Sudut (w)

Kecepatan Sudut adalah salah satu rumus dalam satuan dengan kecepatan rad per sekon tetapi hal ini memiliki sifat dalam satuan dan dapat digunakan antara rad per menit dan juga rad per jam. Kecepatan sudut biasa diberi symbol w . Perhitungan kecepatan sudut dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.4)$$

Keterangan :

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)
 π = 3,14
 n = Putaran (rpm)

5. Daya Air (P_{air})

Daya air (P_{air}) yang diterima oleh roda air adalah daya aliran horizontal sehingga roda air menghasilkan momen putar pada poros. Oleh roda air tergantung pada kecepatan aliran air dan debit aliran air. Perhitungan daya air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{air} = Q \times \rho \times g \times H \quad (2.5)$$

Keterangan :

P = Daya yang dihasilkan (W)
 ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)
 g = Gravitasi (m/s)
 A = Luas penampang sapuan kincir (m^2)

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

6. Daya Turbin Air

Proses perubahan energi kinetic menjadi energi mekanik akan membuat roda air berputar. Sehingga roda air akan bergerak secara berotasi, hal ini dinamakan dengan momen putar yang diterima poros roda air. Perhitungan daya kincir air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{\text{turbin air}} = \tau \cdot \omega \quad (2.7)$$

Keterangan :

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

7. Efisiensi Turbin Air

Secara umum, untuk kerja (performance) suatu peralatan konversi energi termasuk kincir air dapat dinyatakan dengan efisiensi (η) dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\eta_{\text{turbin air}} = \frac{P_{\text{turbin air}}}{P_{\text{air}}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan :

η_{turbin} = Efisiensi turbin air (%)

P_{turbin} = Daya turbin air (w)

P_{air} = Daya air (w)

8. Kecepatan keluar (v_{out})

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

$$v_{\text{out}} = v_{\text{in}} + \omega \quad (2.9)$$

Dimana :

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

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

v = Kecepatan putaran turbin (m/s)

Untuk menentukan nilai kecepatan putar teoritis dapat digunakan persamaan berikut :

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n \times r}{60} \quad (2.10)$$

Dimana :

ω = Kecepatan sudut turbin (m/s)

π = 3,14

n = jumlah putaran turbin (rpm)

r = jarak tumbukan (m)