

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI PANJANG *THROAT* DAN SUDUT
INLET DUCT TERHADAP KINERJA YANG DIHASILKAN
PADA TURBIN HIDROKINETIK**

Disusun dan Diajukan Oleh :

**MOCHAMMAD RYO MAULANA IQBAL
D021 18 1019**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI PANJANG *THROAT* DAN SUDUT *INLET DUCT* TERHADAP KINERJA YANG DIHASILKAN PADA TURBIN HIDROKINETIK

Disusun dan diajukan oleh

MOCHAMMAD RYO MAULANA IQBAL
NIM. D021181019

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr-Ing Ir. Wahyu H Piarah, MSME
NIP. 19600302 198609 1 001



Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT.
NIP. 19680301 199702 2 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, S.T., M.T.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mochammad Ryo Maulana Iqbal
NIM : D021181019
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Sudut *Inlet Duct* terhadap Kinerja yang
Dihasilkan pada Turbin Hidrokinetik

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

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi 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, 27 Februari 2023

Yang Menyatakan



Mochammad Ryo Maulana Iqbal

ABSTRAK

MOCH. RYO MAULANA IQBAL, PENGARUH VARIASI PANJANG THROAT DAN SUDUT INLET DUCT TERHADAP KINERJA YANG DIHASILKAN PADA TURBIN HIDROKINETIK (dibimbing oleh Wahyu H. Piarah dan Zuryati Djafar)

Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di dunia. Produksi energi listrik saat ini masih didominasi dengan energi fosil, seperti PLTU dan PLTG, dikarenakan ketersediaannya yang terbatas maka dibutuhkan diversifikasi energi, salah satunya energi air. Hampir semua kota besar memiliki sungai di dekatnya yang dimana terdapat energi kinetik yang dapat diekstraksi energinya dengan alat yang bernama Turbin Hidrokinetik (THK). Turbin Hidrokinetik (THK) adalah perangkat yang dirancang untuk mengekstrak daya dari arus pasang surut atau air sungai dengan prinsip sama seperti turbin angin, namun dalam pengembangan THK terdapat permasalahan yaitu kecepatan sungai yang relatif rendah dan berubah-ubah. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan modifikasi dari bentuk THK dengan menambahkan *throat* dan *inlet duct*. Pada penelitian ini, dilakukan Analisa mengenai pengaruh panjang *throat* terhadap kinerja yang dihasilkan dengan panjang *short* (138 mm), *medium* (175 mm), dan *long* (212 mm). Hasil yang optimal dari analisa panjang *throat* akan digunakan untuk pengambilan data *inlet duct*. Dengan menggunakan *throat* optimal, dilakukan penelitian mengenai sudut *inlet duct* dengan sudut 30° , 20° , dan 10° di beberapa variasi kecepatan pada Sungai Manggar, Balikpapan. Hasil dari penelitian variasi panjang *throat* dan sudut *inlet duct*, menunjukkan bahwa *throat* yang paling optimal yaitu *throat* panjang *long* (212 mm) dengan daya sebesar 204,77 watt dan koefisien daya (CP) sebesar 0,30. Untuk sudut *inlet duct* yang paling optimal yaitu sudut 30° dengan daya sebesar 2.176 watt atau meningkat 10,6 kali lipat dibandingkan dengan pengujian *throat* dan koefisien daya (CP) sebesar 2,14.

Kata Kunci: *Turbin Hidrokinetik, Throat, Inlet Duct*

ABSTRACT

MOCH. RYO MAULANA IQBAL, PENGARUH VARIASI PANJANG THROAT DAN SUDUT INLET DUCT TERHADAP KINERJA YANG DIHASILKAN PADA TURBIN HIDROKINETIK (dibimbing oleh Wahyu H. Piarah dan Zuryati Djafar)

Energy needs continue to increase along with the increase in world population. Electric energy production is still dominated by fossil energy, such as pltu and pltg, due to their limited availability, energy diversification is needed, one of which is water energy. Almost all big cities have rivers nearby where kinetic energy can be extracted with a device called a hydrokinetic turbine (thk). Hydrokinetic turbine (thk) is a device designed to extract power from tidal currents or river water with the same principle as wind turbines. Still, in the development of thk, there are problems, namely the relatively low and variable speed of the river. This can be overcome by modifying the shape of the thk by adding a throat and inlet duct. In this study, an analysis was carried out regarding the effect of throat length on the resulting performance with short (138 mm), medium (175 mm), and long (212 mm). The optimal results from the throat length analysis will be used for inlet duct data collection. Using the optimal throat, a study was conducted on the angle of the inlet duct with angles of 30° , 20° , and 10° at several speed variations on the manggar river, balikpapan. The results of research on variations in throat length and inlet duct angle show that the most optimal throat is a long throat (212 mm) with a power of 204.77 watts and a power coefficient (cp) of 0.30. For the most optimal inlet duct angle, namely the angle of 30° with a power of 2,176 watts or an increase of 10.6 times compared to the throat test and a power coefficient (cp) of 2.14.

Keywords: hydrokinetic turbine, throat, inlet duct

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Turbin Air	4
2.2 PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air).....	4
2.3 PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)	7
2.4 Klasifikasi Turbin Air.....	7
2.5 Turbin Hidrokinetik	9
2.6 Betz Limit	11
2.7 Inlet Duct	12
2.8 Throat.....	13
2.9 Metode Kecepatan Sungai	13
2.10 Putaran (RPM).....	15
2.11 <i>Pressure Drop</i>	16
2.12 Daya.....	16
2.13 Daya Air.....	16
2.14 Daya Turbin	17
2.15 Power Coefficient (CP).....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Metode Penelitian	19

3.3	Variabel Penelitian.....	20
3.4	Alat dan Bahan	20
3.5	Rancangan Alat.....	22
3.6	Prosedur Pengambilan Data.....	26
3.7	Diagram Alur Penelitian	27
3.8	Analisis Data.....	27
3.9	Rencana dan Jadwal Penelitian.....	30
BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN		31
4.1	Data Hasil Pengamatan.....	31
4.2	Analisa dan Perhitungan	34
4.3	Data Hasil Perhitungan	37
4.4	Grafik dan Pembahasan <i>Throat</i>	40
4.5	Perbandingan Performa Perbedaan Panjang <i>Throat</i>	46
4.6	Grafik dan Pembahasan Inlet.....	47
4.7	Perbandingan Performa Perbedaan Sudut <i>Inlet Duct</i>	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kategori Hydropower (a) Teknologi (b) Kapasitas [14].....	4
Gambar 2. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) [16]	5
Gambar 3. Tipe Pembangkit Energi Air dengan Reservoir [14]	5
Gambar 4. Komponen dari Pembangkit Energi Air Teknologi <i>run of river</i> skala kecil [14].....	6
Gambar 5. Tipe Pompa Penyimpanan [14].....	6
Gambar 6. Tipe Pembangkit Energi Air Aliran Dalam [14].....	7
Gambar 7. Turbin Kaplan [13]	9
Gambar 8. Turbin Pelton	9
Gambar 9. Klasifikasi Turbin Hidrokinetik [19]	10
Gambar 10. <i>Axial Floew Turbines</i> [21]	11
Gambar 11. Turbin Hidrokinetik [22]	11
Gambar 12. Turbin Angin Chaudhari dimasukkan ke dalam Area Tenggorokan Venturi	12
Gambar 13. Skema <i>Duct Turbine</i> [24]	13
Gambar 14. Kurva Peningkat[27]	14
Gambar 15. Pengukuran <i>Cross-section</i> [27].....	14
Gambar 16. <i>Current-meters</i> [27]	15
Gambar 17. Data Logger	20
Gambar 18. Sensor Flow Meter.....	21
Gambar 19. Proximity Sensor.....	21
Gambar 20. Rakit Penelitian.....	21
Gambar 21. Alat Uji Turbin Hidrokinetik	22
Gambar 22. Desain Alat Turbin Hidrokinetik	23
Gambar 23. Pengujian <i>Throat</i>	23
Gambar 24. Pengujian <i>Inlet Duct</i>	24
Gambar 25. Sistem Pengukuran	24
Gambar 26. Skema Instalasi Turbin Hidrokinetik	25
Gambar 27. Diagram Alur Penelitian	27
Gambar 28. Hubungan Kecepatan Terhadap Daya Air	40
Gambar 29. Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Daya Turbin	41

Gambar 30. Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Koefisien Daya.....	42
Gambar 31. Grafik Hubungan Debit terhadap Daya Turbin	43
Gambar 32. Hubungan Putaran terhadap Daya Turbin.....	44
Gambar 33. Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Putaran.....	45
Gambar 34. Grafik Hubungan Kecepatan terhadap <i>Pressure Drop</i>	46
Gambar 35. Hubungan Kecepatan terhadap Daya Air	47
Gambar 36. Grafik Hubungan Kecepatan Terhadap Daya Turbin	48
Gambar 37. Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Koefisien Daya (CP) Turbin	49
Gambar 38. Grafik Hubungan Debit terhadap Daya Turbin	50
Gambar 39. Hubungan Putaran terhadap Daya Turbin.....	51
Gambar 40. Hubungan Kecepatan terhadap Putaran	51
Gambar 41. Grafik Hubungan Kecepatan terhadap <i>Pressure Drop</i>	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Keluaran Daya Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air	7
Tabel 2. Perbedaan Turbin Impuls dan Turbin Reaksi	8
Tabel 3. Data Hasil Pengujian <i>Throat Long</i> (212 mm)	31
Tabel 4. Data Hasil Pengujian <i>Throat Medium</i> (175 mm)	31
Tabel 5. Data Hasil Pengujian <i>Throat Short</i> (138 mm)	32
Tabel 6. Data Hasil Pengujian Inlet 30 Derajat	33
Tabel 7. Data Hasil Pengujian Inlet 20 Derajat	33
Tabel 8. Data Hasil Pengujian Inlet 10 Derajat	34
Tabel 9. Data Hasil Perhitungan <i>Throat Long</i> (212 mm)	37
Tabel 10. Data Hasil Perhitungan <i>Throat Medium</i> (175 mm)	37
Tabel 11. Data Hasil Perhitungan <i>Throat Short</i> (138 mm)	38
Tabel 12. Hasil Perhitungan <i>Inlet Duct</i> 30 Derajat	38
Tabel 13. Hasil Perhitungan <i>Inlet Duct</i> 20 Derajat	39
Tabel 14. Hasil Perhitungan <i>Inlet Duct</i> 10 Derajat	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Gambar Teknik.....	59
Lampiran B. Gambar Teknik Throat	60
Lampiran C. Gambar Teknik Inlet Duct.....	61
Lampiran D. Dokumentasi Pembuatan Alat.....	62
Lampiran E. Dokumentasi Pengambilan Data.....	63

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas ridanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Pengaruh Variasi Panjang *Throat* dan Sudut *Inlet Duct* terhadap Kinerja yang Dihasilkan pada Turbin Hidrokinetik**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan, dan masukan kepada penulis sehingga pada kesempatan ini penulis dengan kerendahan hati dan rasa hormat menghaturkan rasa terima kasih kepada orang tua penulis, Bapak **Zaenul Arifin** dan Ibu **Noor Khasanah**.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan serta bantuan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. **Prof. Dr. -Ing. Wahyu H. Piarah, MSME** dan **Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT** selaku pembimbing atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan hingga akhir penyusunan skripsi ini.
2. **Ir. Andi Mangkau, MT** dan **Asriadi Sakka., ST.,M.Eng** selaku Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis kuliah.
4. Saudara-saudara seperjuangan REACTOR 2018 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya.
5. Teman-teman dan kakak-kakak seperjuangan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan tugas akhir.
6. Serta semua pihak yang tidak bisa disebut satu persatu dalam membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari pembaca agar penyusunan selanjutnya lebih baik. Penulis juga berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca serta pengetahuan

Gowa, 05 Februari 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di dunia. Peningkatan kebutuhan energi terkadang tidak diiringi oleh peningkatan pembangunan sarana dan prasarana yang mendukung sehingga mengakibatkan beberapa tempat tidak mendapat pasokan listrik yang cukup [1]. Produksi energi listrik saat ini masih didominasi dengan energi fosil, seperti PLTU dan PLTG, dikarenakan ketersediaannya yang terbatas maka dibutuhkan diversifikasi energi, salah satunya energi air. Sejarah telah mengatakan bahwa terjadinya semua perkembangan peradaban dan budaya tidak dapat terlepas dari peranan air sungai yang mengalir. Hampir semua kota besar memiliki sungai di dekatnya. Sungai tidak hanya sebagai sumber air, tetapi juga sumber makanan dan transportasi [2].

Salah satu pemanfaatan pada aliran sungai yaitu dengan digunakan sebagai pembangkit energi listrik, seperti pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) konvensional yang menggunakan bendungan sebagai pengubah energi hidrolis menjadi energi mekanik dan menghasilkan listrik. Namun dalam pembangunan PLTA ini membutuhkan tempat dan biaya yang sangat besar, maka dari itu Turbin Hidrokinetik (THK) dapat dijadikan referensi teknologi lain selain PLTA yang memerlukan biaya lebih besar dibanding Turbin Hidrokinetik (THK), selain itu Turbin Hidrokinetik (THK) dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain dan tidak memerlukan area yang luas.

Turbin Hidrokinetik (THK) adalah perangkat yang dirancang untuk mengekstrak daya dari arus pasang surut atau air sungai. Prinsip operasinya sangat mirip dengan turbin angin, karena kedua jenis peralatan bergantung pada energi kinetik aliran sebagai sumber daya utama [3]. Pembangkit hidrokinetik berbeda dengan mesin konversi energi hidrolis standar seperti PLTA Bendungan, turbin jenis ini sebagian besar memanfaatkan energi kinetik air atau dengan *head* yang sangat rendah, turbin hidrokinetik diklasifikasikan sebagai teknologi tekanan rendah dengan *head* dibawah 2,4 m [4].

Terdapat beberapa kendala dalam perkembangan turbin hidrokinetik, diantaranya adalah kecepatan aliran air sungai yang cenderung berubah-ubah dan relatif rendah. Pada saat aliran air cepat, turbin bisa beroperasi, sedangkan pada saat aliran air lambat, maka turbin tidak bisa beroperasi. Kendala lain adalah kinerja turbin hidrokinetik yang masih sangat rendah [5]. Kendala-kendala ini dapat diatasi dengan menciptakan atau membuat suatu turbin arus sungai yang dapat meningkatkan kecepatan sehingga dapat meningkatkan daya dari energi turbin hidrokinetik (THK). Salah satu modifikasi untuk meningkatkan efisiensi turbin hidrokinetik yaitu dengan menambahkan *throat* atau selubung, pemberian *throat* adalah modifikasi yang dibuat pada turbin air agar lebih efisien untuk menangkap energi air [6] dengan cara meningkatkan laju aliran massa yang melewati rotor [7].

Penggunaan *throat* merupakan modifikasi yang terjadi pada turbin hidrokinetik untuk meningkatkan kinerja [6]. Hasil penelitian dari Anbarsooz M, Mazloun M, Moghadam [8] mengatakan bahwa *throat* dapat menghasilkan penurunan tekanan di dalam tabung penampang konstan, sehingga kecepatan yang masuk ke turbin lebih tinggi, semakin panjang tabung maka semakin tinggi penurunan tekanan. Alligne et al, 2018 melakukan penelitian terhadap kinerja *prototype* turbin hidrokinetik menggunakan saluran dengan diberi beberapa variasi kedalaman dan sudut kemiringan turbin, didapatkan nilai koefisien daya (CP) terbesar terjadi pada kedalaman 2,5 meter dan sudut kemiringan turbin 10° , yaitu 1,12 [9].

Selain menggunakan *throat*, modifikasi lain untuk meningkatkan kinerja yaitu dengan menambahkan *inlet duct* yang berbentuk konvergen. Pada *inlet duct* yang berbentuk konvergen, pemberian saluran konvergen dipakai untuk menghasilkan efek venturi, dimana kecepatan akan bertambah dengan seiringnya berkurangnya luas penampang saluran [10]. Penelitian yang dilakukan oleh Piancastelli et al, 2017 yaitu *type diffuser-augmented wind Turbin (DAWT)* dan dikembangkan dengan *hydropower generation system* bentuk *convergent-divergent*, diperoleh peningkatan aliran kecepatan 2,33 kali lipat atau sekitar 2,79 m/s dan meningkatkan output daya sebesar 12,7 kali lipat [11]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Phutumana A, 2017 [12] dengan menggunakan sudut *inlet* 30 derajat, 45 derajat, dan 60 derajat menunjukkan bahwa penambahan kecepatan pada

turbin angin yang paling optimal pada sudut 30 derajat. Maka dari itu berdasarkan latar belakang di atas, tugas akhir ini diajukan untuk meneliti mengenai pengaruh panjang *throat* dan sudut *inlet duct* terhadap kinerja yang dihasilkan turbin hidrokinetik.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, dapat dirumuskan beberapa masalah, yaitu :

1. Bagaimana analisa pengaruh panjang *throat* terhadap kinerja THK meliputi daya dan koefisien daya yang dihasilkan?
2. Bagaimana analisa pengaruh sudut *inlet duct* terhadap kinerja THK meliputi daya dan koefisien daya yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Untuk menganalisa pengaruh panjang *throat* terhadap kinerja THK meliputi daya dan koefisien daya yang dihasilkan.
2. Untuk menganalisa pengaruh sudut *inlet duct* terhadap kinerja THK meliputi daya dan koefisien daya yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Tempat pengambilan data di Sungai Manggar, Balikpapan.
2. Dimensi dari alat pengujian yaitu dengan diameter *throat* 370 mm, diameter *inlet duct* 30⁰ 472 mm, diameter *inlet duct* 20⁰ 433 mm, dan diameter *inlet duct* 10⁰ 398 mm dengan panjang total keseluruhan 304,5 mm.
3. Material yang digunakan dalam pembuatan alat.
4. Material rotor menggunakan *carboon steel*.
5. Jenis rotor yang digunakan menggunakan rotor RR.
6. Karakter fluida yang melewati alat pembangkit hidrokinetik.

1.5 Manfaat Penelitian

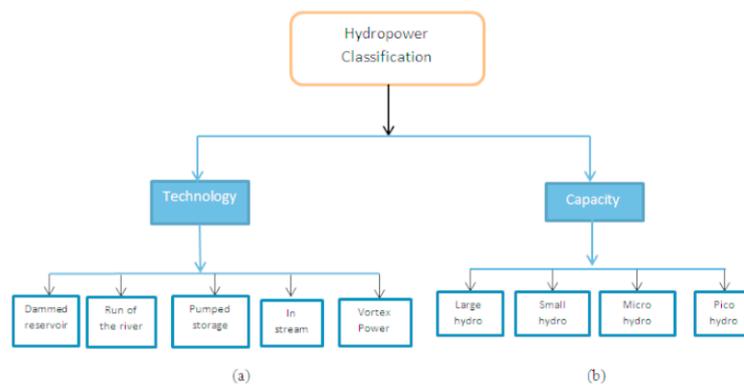
Manfaat yang diharapkan dalam kegiatan ini, yaitu :

1. Memberikan informasi pengaruh panjang *throat* dan sudut *inlet duct* terhadap kinerja THK yang dihasilkan.
2. Dapat memanfaatkan hasil dari penelitian untuk pengembangan berkelanjutan dalam bidang pembangkit hidrokinetik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

Turbin air merupakan mesin berputar yang dapat menghasilkan energi. Turbin air telah dikembangkan semenjak abad ke 19 dan secara luas dipergunakan untuk jaringan listrik. Sekarang, turbin air digunakan secara khusus untuk dijadikan pembangkit listrik dengan mengedepankan energi yang bersih dan baru terbarukan. Desain pertama yang muncul untuk mengekstraksi energi air yaitu dengan menggunakan *water wheel*. Butuh waktu sekitar seratus tahun untuk migrasi dari kincir air ke turbin modern. Kelemahan dari kincir air yaitu terbatas pada laju aliran dan *head*. Pengembangan turbin air terjadi selama revolusi industri dengan menerapkan pemahaman prinsip dan metode sains [13].



Gambar 1. Kategori Hydropower (a) Teknologi (b) Kapasitas [14]

2.2 PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)

Pembangkit listrik tenaga air adalah salah satu contoh solusi dari energi terbarukan yang dapat diperbaharui, oleh karena itu pembangkit listrik tenaga air tidak menghasilkan emisi udara tetapi dalam banyak kasus memiliki efek buruk pada kualitas air, habitat satwa liar dan mencegah migrasi ikan, tetapi baru-baru ini, teknologi baru seperti sistem tenaga vortex air gravitasi dapat mengatasi masalah ini. *Hydropower* saat ini merupakan sumber energi terbarukan yang paling aman, efisien dan dapat dibuat diberbagai daerah yang memiliki aliran air [15].

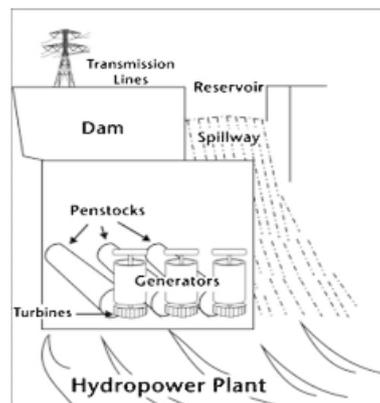


Gambar 2. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) [16]

Dilihat dari cara pengoperasian dan tipe alirannya, hydropower sering dikategorikan menjadi empat tipe, yaitu run of river, bendungan, pompa penyimpanan, dan teknologi arus. Semuanya tersedia mulai dari kapasitas kecil sampai kapasitas besar sesuai dengan hidrologi dan topografi dari area tersebut [14].

2.2.1 Teknologi Waduk Bendungan

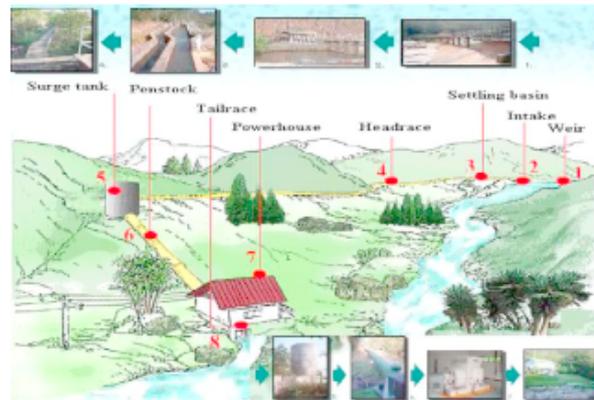
Lebih dari 4500 tahun bendungan sungai telah dapat mengkestraksi energi. Reservoir berfungsi untuk mengurangi fluktuasi yang terjadi pada aliran sungai dengan menaruh rumah generator atau rumah turbin dekat dengan bendungan atau jauh dari bendungan dan menghubungkannya dengan pipa atau saluran buatan dari reservoir menuju rumah turbin [14].



Gambar 3. Tipe Pembangkit Energi Air dengan Reservoir [14]

2.2.2 Teknologi *Run of River (ROR)*

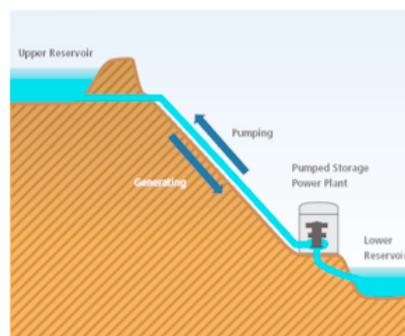
Run of river merupakan pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan memanfaatkan keadaan hidrologi sekitarnya. Komponen dari teknologi *run of river* dapat dilihat pada gambar. 4. Dengan memanfaatkan keadaan hidrologi sekitar maka teknologi ini tidak membutuhkan reservoir atau dapat menggunakan reservoir skala kecil [14].



Gambar 4. Komponen dari Pembangkit Energi Air Teknologi *run of river* skala kecil [14]

2.2.3 Teknologi Pompa Penyimpanan

Pembangkit pompa penyimpanan memompa air menuju reservoir yang berada di atas dengan menggunakan kelebihan energi listrik dari pembangkit listrik seperti yang terlihat pada gambar 5. Pompa beroperasi ketika pembangkit listrik tidak memiliki beban kerja atau tidak dalam kondisi beban puncak [14].



Gambar 5. Tipe Pompa Penyimpanan [14]

2.2.4 Teknologi dalam Aliran

Skema dari pembangkit listrik tenaga air dalam air hampir sama dengan *run of river*, perbedaannya yaitu pada aliran, jika teknologi *run of river* terbatas pada arah aliran sungai, pada teknologi aliran dalam dapat digunakan pada arus pasang surut air laut, bendungan, air terjun, dan aliran bebas pada sungai atau lebih dikenal dengan turbin *hydrokinetic* [14].



Gambar 6. Tipe Pembangkit Energi Air Aliran Dalam [14]

2.3 PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)

Tabel 1. Klasifikasi Keluaran Daya Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air

<i>Classification</i>	<i>Power Output</i>
<i>Large</i>	>100 MW
<i>Medium</i>	10-100 MW
<i>Small</i>	1-10 MW
<i>Mini</i>	100 kW-1 MW
<i>Micro</i>	5 - 100 kW
<i>Pico</i>	< 5 kW

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro atau yang umum disingkat dengan PLTMH merupakan salah satu alternatif sumber pembangkit energi terbarukan. Pada umumnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro atau PLTMH adalah pembangkit listrik yang bersumber dari tenaga air yang menggunakan prinsip "*run-of-river*". Pada prinsip *run-of-river* untuk memperoleh atau mendapatkan tinggi jatuh air atau head dilakukan dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai melalui pipa saluran ke salah satu sisi sungai. Pengalihan aliran air tersebut akan disesuaikan dengan kebutuhan atau sesuai dengan kapasitas daya listrik yang akan dihasilkan dari PLTMH tersebut. Dengan dasar tersebut maka PLTMH tidak dilakukan dengan membangun bendungan yang besar [17].

2.4 Klasifikasi Turbin Air

Aliran air mengalir menuju blade dari runner turbin dan menimbulkan gaya yang mendorong blades. Turbin air dibagi menjadi dua bagian yaitu, turbin reaksi dan turbin impuls. Bentuk blade yang tepat pada turbin air berfungsi untuk

meneruskan tekanan dari air dan menentukan jenis impeller yang digunakan [13].

Tabel 2. Perbedaan Turbin Impuls dan Turbin Reaksi

No.	Turbin Impuls	Turbin Reaksi
1.	Semua energi tersedia dari air mula-mula dikonversi menjadi energi kinetik.	Energi tersedia dari air tidak dikonversi dari 1 bentuk energi ke bentuk energi yang lainnya.
2.	Air mengalir melalui nosel & menumbuk bucket yang dipasang pada keliling wheel.	Air diarahkan dengan sudu pengarah (guide blade) ke sudu putar.
3.	Air menumbuk bucket dengan energi kinetik.	Air mengalir pada sudu putar dengan energi tekanan.
4.	Tekanan air yang mengalir tetap tidak berubah & sama dengan tekanan atmosfer.	Tekanan air yang mengalir berkurang setelah air melewati sudu.
5.	Tidak masalah apakah turbin tercelup semua atau ada celah udara antara sudu & wheel.	Wheel harus selalu tercelup air.
6.	Air dapat mengalir pada sebagian keliling wheel atau seluruh keliling wheel.	Air melewati seluruh keliling dari wheel.
7.	Dimungkinkan untuk mengatur aliran tanpa rudi-rigi aliran.	Tidak dimungkinkan untuk mengatur aliran tanpa rugi-rugi aliran.
8.	Kerja yang dilakukan hanya oleh perubahan energi kinetik dari jet air.	Kerja dilakukan sebagian oleh perubahan head kecepatan, namun hampir seluruhnya oleh perubahan head tekanan.

2.4.1 Turbin Reaksi

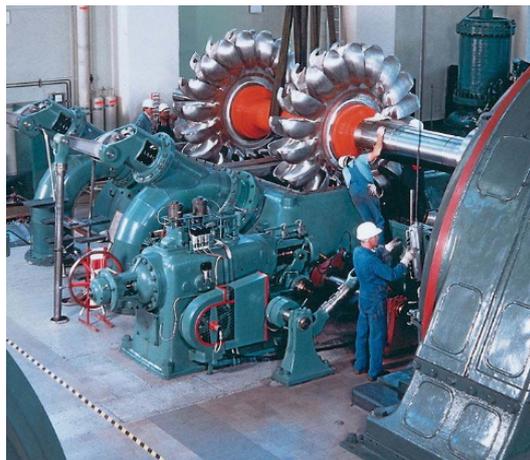
Turbin reaksi bekerja dengan mengandalkan air yang mengalir ke rumah turbin dan menghasilkan perubahan tekanan yang dapat memutar *blades*. Kebanyakan turbin air yang digunakan saat ini merupakan turbin air reaksi dengan *head* 30 meter untuk *low* dan 30-300 meter untuk *medium*. Beberapa jenis *runners* dari turbin reaksi yaitu turbin francis, *Kaplan*, *Propeller*, *Bulb*, *Tube*, *Straflo*, *Tyson*, dan *Gorlov*.



Gambar 7. Turbin Kaplan [13]

2.4.2 Turbin Impuls

Turbin Impuls merubah kecepatan air dengan menggunakan *nozzel (water jet)*. *Water jet* mendorong sudut dari *blade* turbin yang akhirnya merubah arah aliran dari air dan menghasilkan momentum yang disebabkan oleh gaya yang bekerja pada *blades*. Sebelum mendorong *blades*, tekanan air energi potensial diubah menjadi energi kinetik dengan menggunakan *nozzle*. Beberapa jenis *runners* dari turbin impuls yaitu *Pelton*, *Turgo*, *Michell-Banki (Crossflow)*.

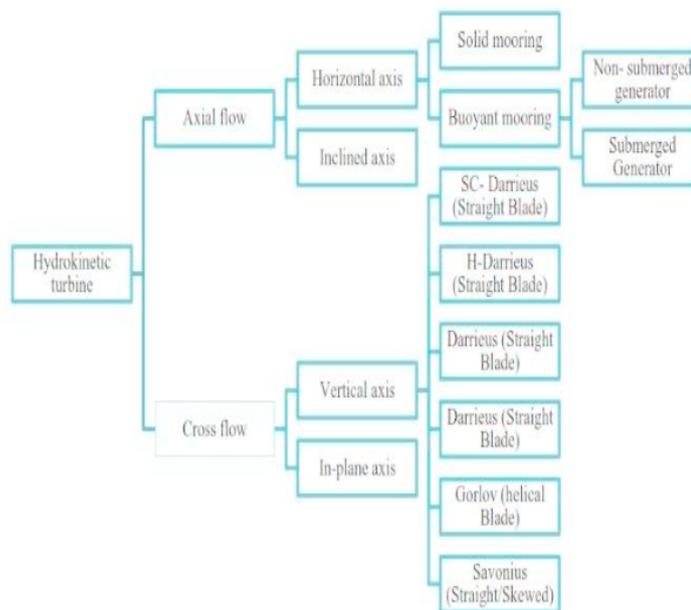


Gambar 8. Turbin Pelton

2.5 Turbin Hidrokinetik

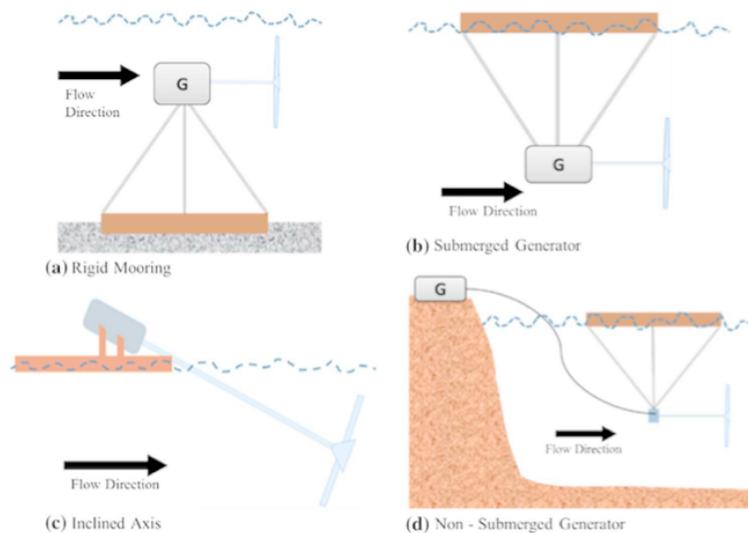
Peralatan pembangkit listrik tenaga air konvensional memerlukan ketinggian air vertikal yang signifikan untuk menggerakkan turbin, yang secara substansial mengurangi jumlah lokasi pemasangan potensial untuk turbin portabel yang dapat digunakan dengan cepat [18], untuk itu dibutuhkan pembangkit listrik

tenaga air yang mudah dipasang dan dipindahkan, salah satunya adalah turbin hidrokinetik. Turbin hidrokinetik adalah perangkat yang dirancang untuk mengekstrak daya dari arus pasang surut atau air sungai. Prinsip operasinya sangat mirip dengan turbin angin, karena kedua jenis peralatan bergantung pada energi kinetik aliran sebagai sumber daya utama [3]. Turbin hidrokinetik juga sering disebut dengan turbin propeller karena dalam pengoperasiannya tidak membutuhkan *head* yang tinggi, sehingga cocok jika ditempatkan di area yang tidak memiliki *head* sama sekali [13].



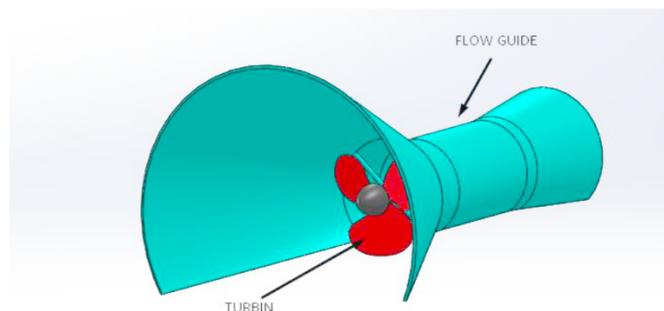
Gambar 9. Klasifikasi Turbin Hidrokinetik [19]

Klasifikasi turbin hidrokinetik pada dasarnya dapat dibuat sebagai sumbu horizontal atau *Horizontal Axial Hydrokinetic Turbine (HAHT)* dan sumbu vertikal atau *Vertical Axial Hydrokinetic Turbine (VAHT)* [20]. Turbin horisontal memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan turbin vertikal [21]. Turbin sumbu horizontal dapat dipisahkan menjadi dua kelompok. Sumbu rotasi yang pertama sejajar dengan arah aliran air. Sumbu rotasi lainnya tegak lurus dengan arah aliran air. Kincir air atau turbin aliran silang dapat diklasifikasikan sebagai turbin sumbu horizontal tegak lurus, turbin aliran aksial biasanya dapat dibangun sebagai dua, tiga atau multi-sudu [20]. Turbin axial diklasifikasikan seperti pada Gambar.10 yaitu a) Rigid Mooring, b) Submerged Generator, c) Inclined Axis, d) Non-Submerged Generator



Gambar 10. *Axial Flow Turbines* [21]

Turbin hidrokinetik umumnya digunakan untuk produksi listrik untuk menjalankan sistem pompa atau untuk mengisi baterai. Turbin hidrokinetik memanfaatkan energi kinetik aliran air sungai, pasang surut air laut, dan kanal buatan untuk pembangkit listrik. Savonius, Darrieus, dan perangkat aliran aksial lainnya umumnya digunakan turbin hidrokinetik untuk produksi listrik [10].



Gambar 11. Turbin Hidrokinetik [22]

2.6 Betz Limit

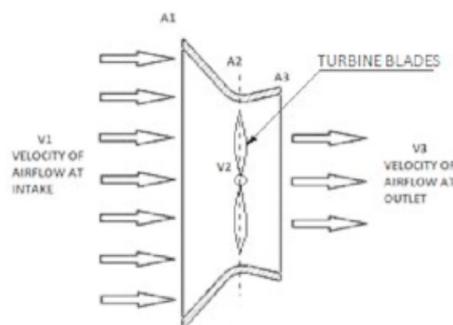
Efisiensi adalah salah satu aspek penting dalam penerapan teknologi ini, karena dapat mempengaruhi nilai ke-ekonomian. Efisiensi maksimum turbin angin konvensional adalah 0,59, yang dikenal sebagai Betz Limits. Diyakini bahwa alasan di balik fenomena nilai batas efisiensi ini tidak hanya diakibatkan oleh kelemahan dalam desain teknologi [16].

Batasan ini dikaitkan dengan batas Betz dan sesuai dengan 59,3% dari daya yang tersedia pada aliran bebas yang mengalir melalui area turbin tanpa selubung. Untuk mengatasi masalah ini, telah dilakukan beberapa upaya untuk menambahkan selubung di sekitar turbin dengan maksud untuk meningkatkan aliran massa yang melewati rotor karena pengurangan tekanan di belakang turbin, sehingga meningkatkan daya yang tersedia [3].

2.7 Inlet Duct

Saluran masuk di desain untuk mengontrol arah dan kecepatan dari aliran fluida, struktur *nozzle* atau *inlet duct* sering berupa pipa atau tabung dengan luas penampang yang bervariasi yang digunakan untuk mengarahkan atau mengontrol aliran fluida, kecepatan, massa, dan tekanan aliran yang keluar darinya. Dalam nosel, kecepatan fluida meningkat dengan memperkecil energi tekanannya. Nozel umumnya dikategorikan menjadi tiga jenis - *Nozzle Konvergen*, *Nozzle Divergen*, dan *Nozzle Konvergen – Divergen* [12].

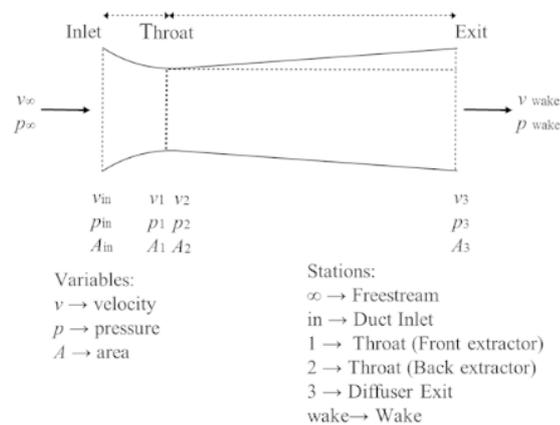
Saluran masuk atau *inlet duct* dapat digunakan untuk mempercepat aliran yang melintasi turbin untuk meningkatkan kinerja dari pembangkit hidrokinetik [24]. Beberapa penelitian mengenai saluran masuk telah dilakukan pada turbin angin, hal ini dikarenakan dalam aplikasi turbin angin sangat bergantung pada energi kinetik yang tersedia, maka dari itu dibutuhkan penambahan saluran masuk dan terungkap bahwa peningkatan daya sebanding dengan kenaikan aliran massa yang dihasilkan oleh turbin angin *nozzle diffuser-augmented (NDAWT)* [25].



Gambar 12. Turbin Angin Chaudhari dimasukkan ke dalam Area Tenggorokan Venturi

Inlet duct memiliki kemampuan untuk mempercepat aliran udara melalui *intake* konvergen sehingga meningkatkan daya yang dapat diekstraksi dari aliran

udara. Saat angin melewati saluran konvergen, kecepatan meningkat sementara tekanan berkurang [26]. Pemanfaatan saluran konvergen pada pembangkit hidrokinetik belum diteliti, namun beberapa penelitian telah menggunakan saluran konvergen pada turbin angin dan dari penelitian tersebut didapat bahwa turbin saluran konvergen dapat meningkatkan ekstraksi aliran angin sebesar 5 hingga 6 kali dibandingkan dengan turbin angin konvensional [14].



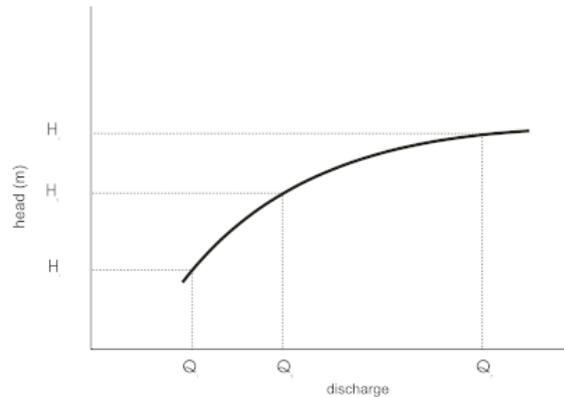
Gambar 13. Skema *Duct Turbine* [24]

2.8 Throat

Secara teori semakin panjang throat pada sebuah turbin hidrokinetik, maka penurunan tekanan pada bagian belakang propeller lebih tinggi, sehingga dengan rendahnya tekanan pada bagian belakang propeller, maka kecepatan yang melewati propeller lebih tinggi seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Anbarsooz bahwa penambahan *throat* dapat memaksimalkan kecepatan aliran air sebesar 1.57 [8].

2.9 Metode Kecepatan Sungai

Ini adalah metode konvensional untuk sungai sedang hingga besar, yang melibatkan pengukuran luas penampang sungai dan kecepatan rata-rata air yang melaluinya; ini adalah pendekatan yang berguna untuk menentukan aliran sungai dengan upaya minimum. Titik yang tepat harus dipilih pada bagian sungai yang relatif lurus dan mengalir lancar untuk diukur. Sungai pada titik ini harus memiliki lebar yang seragam, dan area yang terdefinisi dengan baik dan bersih seperti pada gambar 8 [27]. Pengukuran debit secara periodik dari yang terendah sampai yang tertinggi dilakukan dalam jangka waktu beberapa bulan, untuk mengkalibrasi tahapan pengamatan atau pencatatan [27].



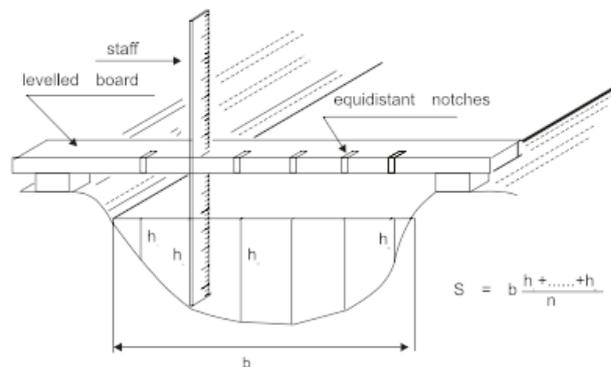
Gambar 14. Kurfa Peningkat[27]

2.5.1 Pengukuran Kecepatan

Karena kecepatan baik melintasi aliran dan vertikal melalui itu tidak konstan, perlu untuk mengukur kecepatan air di sejumlah titik untuk mendapatkan nilai rata-rata. Ada beberapa cara untuk melakukan ini, dua di antaranya dibahas di bawah ini [27].

a. Floating

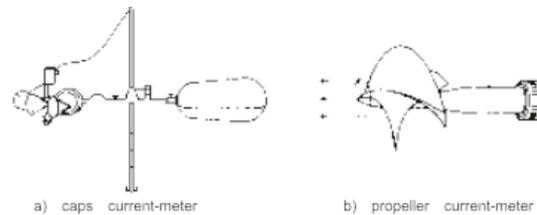
Sebuah benda terapung, yang sebagian besar terendam B misalnya sumbat kayu atau botol B yang terisi sebagian terletak di tengah aliran sungai. Waktu t (sekon) yang berlalu untuk melintasi panjang tertentu L (m) dicatat. Kecepatan permukaan (m).

Gambar 15. Pengukuran *Cross-section* [27]

Hasil bagi dari panjang L dan waktu t . Untuk memperkirakan kecepatan aliran rata-rata, nilai di atas harus dikalikan dengan faktor koreksi, yang dapat bervariasi antara 0,60 dan 0,85 tergantung pada kedalaman aliran air dan kekasaran dasar dan tepi sungai (0,75 adalah nilai yang diterima dengan baik) [27].

b. Propeller Current-meter

Pengukur arus adalah alat pengukur kecepatan fluida. Baling-baling kecil berputar di sekitar poros horizontal, yang dijaga sejajar dengan garis arus oleh sirip ekor. Instrumen diberi pemberat untuk menjaganya sedekat mungkin tepat di bawah pengamat. Versi lain dari instrumen ini memiliki lingkaran cangkir kerucut kecil yang diletakkan secara horizontal di sekitar sumbu suspensi [27].



Gambar 16. *Current-meters*[27]

Kecepatan air dari kurva kalibrasi untuk instrumen. Dengan menggerakkan meteran vertikal dan horizontal ke serangkaian posisi yang koordinat pada penampang ditentukan, peta kecepatan lengkap penampang dapat ditarik dan debit melalui itu dihitung [27].

c. *Electro-magnetic current-meter*

Pengukur arus elektro-magnetik (e/m) adalah instrumen pengukuran induksi listrik, tanpa bagian yang bergerak, dipasang pada probe streamline yang tertutup sepenuhnya. Probe dapat dipasang pada batang dan dipegang pada berbagai kedalaman atau digantung pada kabel [27].

E/m meter memiliki keunggulan lebih kecil dan memiliki jangkauan pengukuran yang lebih luas dibandingkan propeller meter. Hal ini sangat berguna pada kecepatan yang sangat rendah ketika meter baling-baling menjadi tidak menentu. Sensitivitas dan kerentanannya yang lebih rendah terhadap pengotoran dari gulma dan puing-puing membuatnya menarik untuk digunakan di sungai yang sangat tercemar atau berair [27].

2.10 Putaran (RPM)

RPM merupakan kependekan dari *revolutions per minute* yang artinya adalah hitungan revolusi gerak memutar dari setang piston terhadap sumbu. Namun ada juga yang mengatakan rotasi per menit [28].

2.11 Pressure Drop

Pressure drop adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik ke titik yang lainnya yang diakibatkan oleh hambatan yang terjadi antara dua titik tersebut, *pressure drop* berhubungan dengan kecepatan fluida dan viskositas fluida [29], [30].

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (1)$$

Dimana :

$$\rho = \text{Masa jenis air} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$V = \text{Kecepatan air} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

2.12 Daya

Daya merupakan laju energi yang dihantarkan selama melakukan usaha dalam periode waktu tertentu. Satuan SI (Satuan Internasional) untuk daya yaitu Joule / Sekon (J/s) = Watt (W). Satuan Watt dipakai untuk penghormatan kepada seorang ilmuwan penemu mesin uap yang bernama James Watt. Satuan daya lainnya yang sering dipakai yaitu Daya Kuda atau Horse Power (hp), 1 hp = 746 Watt. Daya adalah besaran skalar, karena daya hanya mempunyai nilai, tidak memiliki arah [31].

2.13 Daya Air

Turbin air mengkonversi energi kinetik dari air yang bergantung pada *water power*. *Water power* merupakan kuantitas dari energi air yang melewati suatu area per unit waktu. Energi air didefinisikan sebagai energi air yang bergerak, energi tersebut adalah energi kinetik yang merupakan fungsi dari massa dan kecepatan fluida [32].

Energi kinetik dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut [32] :

$$K E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2)$$

Dimana m merupakan laju aliran massa yang memiliki persamaan sebagai berikut [32] :

$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad (3)$$

Sehingga *water power* dapat dinyatakan sebagai daya yang melalui penampang dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut [32] :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

$$\rho = \text{Masa jenis air } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$A = \text{Luas Penampang Throat } (m^2)$$

$$V = \text{Kecepatan air}$$

2.14 Daya Turbin

Komponen utama dari turbin angin adalah konverter energi yang mengubah energi kinetik yang terkandung dalam udara yang bergerak, menjadi energi mekanik. Ekstraksi energi mekanik dari aliran udara yang bergerak dengan bantuan pengubah energi angin berbentuk cakram yang berputar mengikuti aturan dasarnya sendiri.

Turbin hidrokinetik memiliki prinsip fungsi yang sama dengan turbin angin. Dengan demikian persamaan daya keluar dari turbin hidrokinetik dapat dilihat dari persamaan 4 dan 5 [33].

$$P_t = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \quad (5)$$

$$\rho = \text{Masa jenis air } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$A = \text{Luas Penampang Throat } (m^2)$$

$$v_1 = \text{Kecepatan air masuk } (m/s)$$

$$v_2 = \text{Kecepatan air keluar } (m/s)$$

2.15 Power Coefficient (CP)

Rasio antara *mechanical power* yang terekstraksi oleh rotor dan potensi energi yang ada pada aliran sungai biasa disebut dengan *power coefficient* (C_p) [33]. Koefisien daya merupakan hubungan antara daya yang dapat diekstraksi turbin pada arus air dan daya yang tersedia pada arus air, hal ini menunjukkan bahwa turbin tidak dapat secara penuh mengekstraksi daya yang tersedia pada arus air [34].

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} = \frac{\frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3} \quad (6)$$

$$\rho = \text{Masa jenis air } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$A = \text{Luas Penampang Throat (m}^2\text{)}$

$v_1 = \text{Kecepatan air masuk (m/s)}$

$v_2 = \text{Kecepatan air keluar (m/s)}$