

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik memiliki peranan yang sangat penting bagi masyarakat di Indonesia. Dalam era modern ini, hampir seluruh aspek kehidupan tergantung pada ketersediaan listrik. Energi listrik menjadi tulang punggung untuk mendukung berbagai sektor, seperti industri, pendidikan, kesehatan, dan rumah tangga. Oleh karena itu, pengembangan energi listrik yang handal dan terjangkau menjadi kunci untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat Indonesia dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

Meskipun energi listrik memiliki peranan yang krusial bagi masyarakat di Indonesia, tantangan utama yang dihadapi adalah kesenjangan antara kebutuhan energi yang semakin meningkat dengan kapasitas pembangkit listrik yang belum sepenuhnya memadai. Berdasarkan data statistik ketenagalistrikan tahun 2022 kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan konsumsi tenaga listrik per kapita Nasional dari tahun 2016 hingga tahun 2022 terus meningkat(Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022b) dapat dilihat pada tabel berikut

**Tabel 1.1.** Konsumsi Tenaga Listrik per Kapita Nasional (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022b)

TAHUN YEAR	JUMLAH PENDUDUK NUMBER OF POPULATION	KONSUMSI TENAGA LISTRIK ENERGY CONSUMPTION GWH	KONSUMSI TENAGA LISTRIK PERKAPITA ENERGY CONSUMPTION PER CAPITA GWH
2016	258.705.000	247.416,06	956,36
2017	261.890.900	267.453,99	1.021,24
2018	265.015.300	282.031,11	1.064,21
2019	266.911.900	289.340,82	1.084,03
	269.603.400	293.465,27	1.088,51
	272.248.500	305.627,28	1.122,60
	274.859.100	322.336,67	1.172,73



Berdasarkan tabel diatas kita dapat menyimpulkan bahwa Pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan perkembangan teknologi telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam permintaan energi listrik. Meskipun terdapat beragam opsi energi untuk memenuhi kebutuhan listrik, sebagian besar masih bergantung pada sumber energi fosil. Menurut data kapasitas pembangkit nasional Total kapasitas pembangkit nasional pada tahun 2022 sebesar 83.813,09 MW. Dari total kapasitas pembangkit nasional sebanyak 50,52% atau setara 42.343,26MW bersumber dari pembangkit listrik tenaga uap, yang sebagian besar bahan bakunya bersumber dari batubara (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022b). Hal ini menunjukkan perlunya transformasi menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan seperti pemanasan global.

Sementara itu sebagaimana diketahui, Indonesia memiliki potensi EBT yang berlimpah mencapai 3.687 GW, terdiri dari potensi surya sebesar 3.294 GW, potensi hidro 95 GW, potensi bioenergi 57 GW, potensi bayu 155 GW, potensi panas bumi 23 GW, potensi laut 63 GW. Diluar itu, terdapat potensi uranium 89.483 ton dan Thorium 143.234 ton. Potensi EBT tersebut sangat besar, tersebar, dan beragam (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2022a).

Dari data tersebut dapat kita lihat beberapa EBT yang memiliki potensi besar yaitu EBT bayu dan EBT hidro. EBT bayu memiliki beberapa hal yang perlu dipertimbangkan untuk dapat dimanfaatkan seperti ketersediaan lokasi yang terbatas, tidak semua daerah memiliki kecepatan angin yang memadai untuk pembangkit listrik tenaga bayu. oleh karena itu, pilihan lokasi untuk pembangunan pembangkit bayu menjadi terbatas. Selain itu juga EBT Bayu sangat tergantung pada kecepatan dan konsistensi angin. Kondisi cuaca yang fluktuatif dapat menyebabkan variabilitas produksi listrik, yang sulit untuk diprediksi dan diatasi.

Berbeda dengan EBT hidro dimana Pembangkit listrik tenaga air dapat dibangun di berbagai lokasi, termasuk sungai-sungai kecil dan besar serta dengan memanfaatkan variasi ukuran dan teknologi yang sesuai dengan lokasi. Dan juga EBT Hidro cenderung lebih stabil dalam menghasilkan



energi listrik karena tidak terlalu dipengaruhi oleh fluktuasi cuaca seperti angin. Sungai dan aliran air yang konsisten dapat memberikan produksi listrik yang terus-menerus.

Potensi tenaga air yang dimiliki Indonesia dalam skala besar (PLTA) senilai 75.091 MW sedangkan skala minihidro dan mikrohidro sebesar 19.385 MW (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), 2017). Energi listrik tenaga air yang dikembangkan di Indonesia pada umumnya adalah sistem bendungan/waduk dan sistem pengalihan aliran sungai. Kedua sistem tersebut membutuhkan head yang memadai. Namun ada pula yang disebut dengan pembangkit listrik tenaga hidrokinetik, Sistem Hidrokinetik (HK), juga dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga air "zero-head," berbeda dari pembangkit listrik tenaga air konvensional dengan mengekstraksi energi dari energi kinetik air yang mengalir, mirip dengan prinsip yang digunakan dalam turbin angin, daripada mengandalkan energi potensial dari air yang jatuh. Sistem-sistem ini dapat dipasang secara efektif di sungai atau aliran air yang mengalir bebas. Ini menunjukkan pendekatan berkelanjutan dalam menghasilkan energi listrik dari tenaga air tanpa perlu melakukan perubahan signifikan pada topografi (Kusakana & Vermaak, 2013).

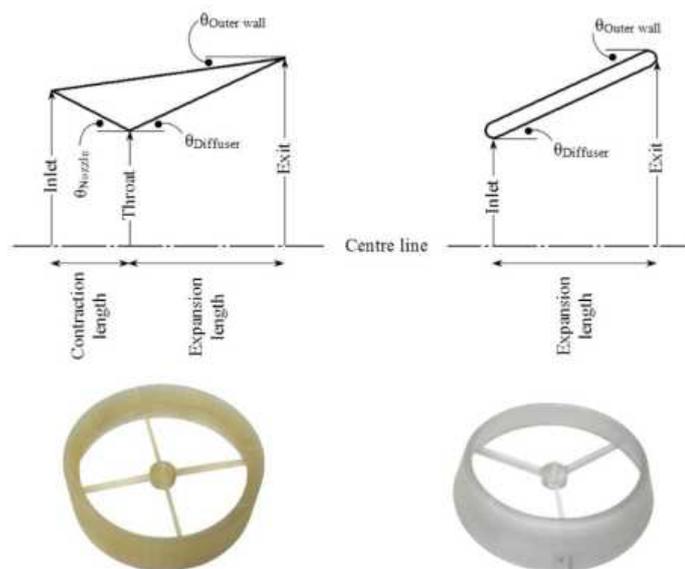
Dengan menggunakan jenis energi ini, produksi energi HK berhasil mengatasi sejumlah tantangan yang dihadapi oleh pembangkit listrik tenaga air konvensional, seperti biaya konstruksi sipil yang tinggi dan kebutuhan akan tinggi energi potensial yang dapat diterima dan dapat dimanfaatkan (Niebuhr et al., 2019). Desain turbin HK yang relatif sederhana tanpa memerlukan waduk atau saluran buangan menjadikannya pilihan yang efisien. Hasil uji awal menunjukkan dampak lingkungan yang minimal, dan kemudahan perangkat ini dalam instalasi dan pemeliharaan menawarkan biaya yang rendah. Karena sifat kesederhanaannya, sistem-sistem ini dapat menjadi solusi berharga terutama di daerah pedesaan atau terpencil (Kusakana & Vermaak, 2013). Pemanfaatan arus aliran sungai sebagai

hidrokinetik di Indonesia belum terlalu populer untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik. Beberapa penelitian di berbagai negara telah dilakukan yang dilakukan oleh Brown, Eloise J. dkk (2022) mereka menganalisa



sumber energi yang dihasilkan oleh turbin hidrokinetik pada beberapa sungai yang ada di Alaska, Amerika Serikat. Mereka memperoleh rata-rata aliran selama penelitian mereka lakukan pada bulan Agustus-Oktober sebesar 2m/s dapat menghasilkan daya sesaat tertinggi yakni >7 Kw pada sungai Chuathbaluk sementara daya terendah sesaat <4 Kw pada sungai Red Devil (Brown et al., 2023).

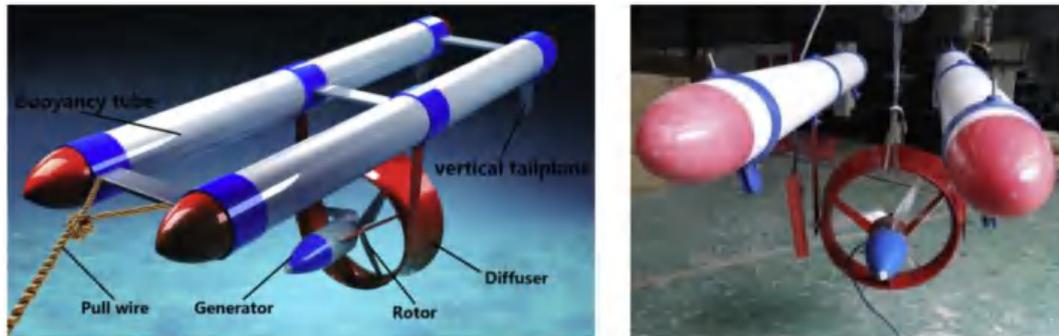
Selain itu Shabsavarifard, Mohammad dkk (2015). Meneliti tentang pengaruh selubung (shroud) terhadap kinerja turbin hidrokinetik sumbu horizontal. Mereka membandingkan 3 variasi diantaranya menggunakan *shroud*, *diffuser*, dan tanpa menggunakan salah satunya (*blade*). Mereka memperoleh hasil penelitian mereka yaitu penggunaan diffuser jauh lebih baik dibandingkan penggunaan variasi lainnya, baik itu pada kecepatan 0,7; 0,9; dan 0,1 m/s (Shabsavarifard et al., 2015).



**Gambar 1.2.** Bentuk profil skematik Shroud (Kiri) dan Diffuser (Kanan)

Song, Ke dkk (2019) menganalisa secara numerik dan eksperimen pengaruh penambahan difuser pada *micro-hydro turbine*. Hasil analisa mereka menghasilkan bahwa daya keluaran yang dihasilkan dengan penambahan difuser hampir 1,6 kali lipat di bandingkan turbin tanpa menggunakan difuser baik secara numerik dan eksperimen (Song et al., 2019).





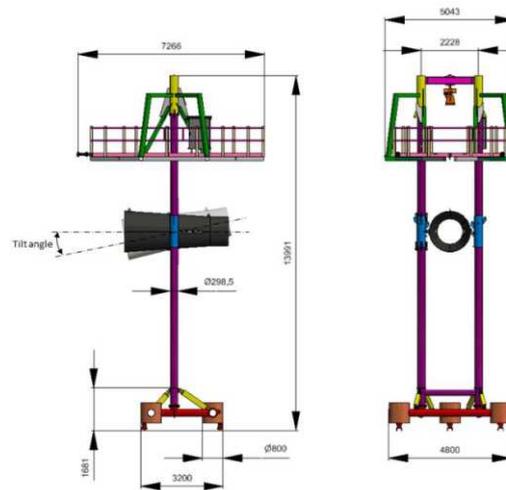
**Gambar 1.3.** Alat Uji Micro-Horizontal Axis Diffuser-Augmented Turbine  
(Song et al., 2019)

Nasrullah (2023) melakukan penelitian tentang kinerja turbin hidrokinetik dengan penambahan difuser pada kondisi yaw misalignment dengan variasi kecepatan 0,7m/s; 0,9m/s; dan 1,1 m/s. diperoleh Secara khusus, nilai  $C_p$  maksimal terdeteksi mencapai 0.711 dengan tip speed ratio (TSR) sebesar 4.33 pada sudut yaw  $0^\circ$ , dan saat kecepatan aliran air mencapai 0.9 m/s. Selain itu, pengamatan menunjukkan bahwa hampir di semua sudut yaw, turbin hidrokinetik menunjukkan performa yang lebih unggul pada kecepatan aliran air 0.9 m/s daripada pada 1.1 m/s (Nasrullah et al., 2023).

Fenomena ini mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan aliran air tidak selalu mengakibatkan peningkatan efisiensi turbin dalam menghasilkan daya, yang diakibatkan oleh desain diffuser berbentuk kerucut saat aliran air melintasi sudu-sudu turbin. Aliran air dengan kecepatan tinggi dan tekanan rendah terjadi, terutama saat melewati penampang yang lebih sempit, dan prinsip ini didasarkan pada hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa total tekanan fluida, kecepatan fluida, dan ketinggian fluida selalu tetap (Wang et al., 2023).

Sementara penelitian lainnya dimana Alligne, Cecile Munch dkk (2018) melakukan eksperimen turbin kinetik pada *tailrace canal, Switzerland*. Mereka bervariasi kedalaman turbin kinetik mereka dan juga kemiringan dari turbin hidrokinetik mereka. Diperoleh bahwa dengan adanya variasi kemiringan dari lorkinetik maka nilai koefisien daya ( $C_p$ ) akan meningkat dibandingkan nya kemiringan dari turbin hidrokinetik itu sendiri (Münch-Alligné et al.,





**Gambar 1.4.** Skema Alat Uji Turbin Hidrokinetik dengan variasi kemiringan  
(Münch-Alligné et al., 2018)

Namun, dengan adanya kemiringan dari turbin hidrokinetik ini memiliki beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan yaitu Aliran fluida yang miring dapat meningkatkan efisiensi turbin di hulu, tetapi juga berpotensi menimbulkan peningkatan kecepatan fluida di sepanjang rotor. Hal ini dapat menambah beban struktural dan merusak turbin. Dan juga memberikan kemiringan pada rotor di hulu dapat meningkatkan shear di sepanjang rotor, yang dapat menambah beban dan merusak turbin (Barthelmie et al., 2020; Johlas et al., 2022).

Sehingga salah satu solusi dari permasalahan diatas yaitu perlu adanya pengarah yang memusatkan dan mempercepat aliran fluida ke dalam turbin. Khususnya pada fluida air dalam pengaplikasian turbin hidrokinetik. Beberapa penelitian tentang pengaplikasian pengarah yang memusatkan dan mempercepat aliran fluida angin ke dalam turbin telah dilakukan dengan menggunakan teknologi Invelox. Invelox adalah konsep revolusioner dalam turbin angin segala arah, mengumpulkan angin dari semua arah hingga ke permukaan tanah untuk operasi yang aman, kuat, dan efisien biaya (Suthagar et al., 2020). Keunggulan Invelox adalah bahwa ia menangkap aliran angin melalui saluran masuk segala arah dan

ena itu tidak memerlukan kontrol yaw pasif atau aktif (Allaei &oulos, 2014). Selain itu, invelox memberikan solusi untuk semua masalah ng selama ini menghambat industri angin, seperti rendahnya kehandalan asalah intermitensi, dan dampak lingkungan serta radar yang merugikan



(Allaei & Andreopoulos, 2014). Dengan penggunaan invelox yang dimodifikasi lebih pendek Hasil simulasi dapat mengekstrak energi 432% lebih besar dibanding dengan sistem tradisional (Nardecchia et al., 2021).

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait Invelox sebagai pengarah yang memusatkan dan mempercepat aliran fluida ke dalam turbin belum adanya pengaplikasian Invelox pada penggunaan turbin hidrokinetik. Oleh karena itu berdasarkan hal tersebut perlu adanya penelitian dan kajian tentang pengaplikasian invelox sebagai pengarah yang memusatkan dan mempercepat aliran fluida ke dalam turbin hidrokinetik.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, berikut beberapa rumusan masalah yang muncul terkait dengan penelitian yang akan dilakukan:

1. Bagaimana pengaruh dari penggunaan invelox pada pengaplikasian turbin hirokinetik?
2. Bagaimana model geometri invelox yang tepat guna menghasilkan daya aliran yang optimal?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi beberapa tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan invelox pada pengaplikasian turbin hirokinetik.
2. Menvalidasi model invelox yang tepat agar menghasilkan kinerja yang optimal.

## 1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini ada beberapa masalah yang dibatasi agar tidak menyimpang dari apa yang diteliti. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini terdiri dari saluran *outlet*, saluran *throat* dan saluran *inlet*.



Adapun variasi dari penelitian ini hanya bervariasi sudut intake invelox yang dipilih yaitu  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $30^\circ$  beserta kecepatan inlet yang masuk ke saluran yaitu, 0,5 m/s, 1,5 m/s, 2,5 m/s, dan 3,5 m/s.

3. Seluruh penelitian ini dilakukan dengan metode numerik atau menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
4. Penelitian ini hanya berfokus pada energi yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan berupa kecepatan aliran yang dihasilkan.
5. Bagian yang diamati adalah kecepatan pada bagian saluran *inlet*, saluran *throat*, dan saluran *outlet*.

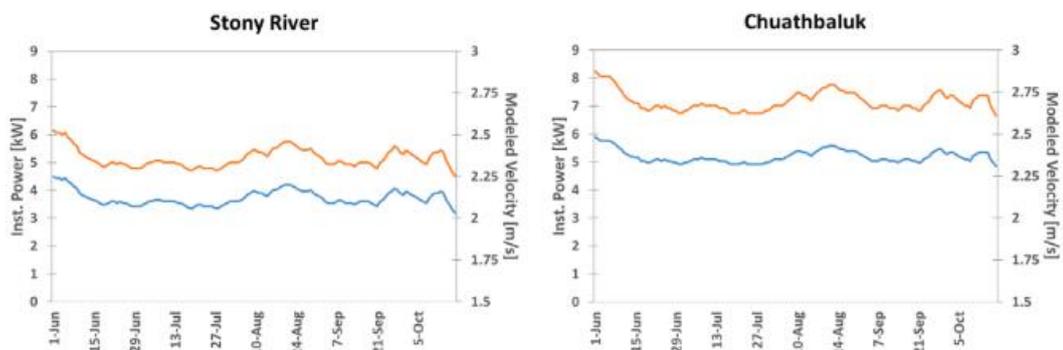


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

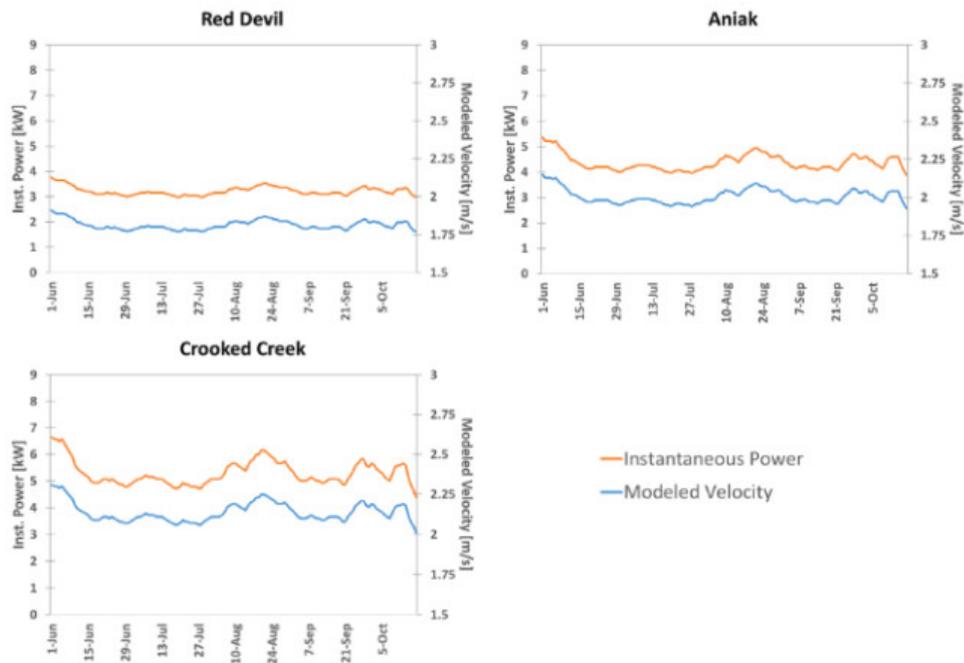
#### 2.1. Literatur Review

Beberapa penelitian tentang turbin hidrokinetik di berbagai negara telah dilakukan diantaranya dilakukan oleh Brown, Eloise J. dkk (2023) mereka menganalisa sumber energi yang dihasilkan oleh turbin hidrokinetik pada beberapa sungai yang ada di Alaska, Amerika Serikat dengan menggunakan rotor tunggal dengan diameter 2 m, luas sapuan 3,14 m dan  $\xi = 34,4\%$  dari desain konseptual CEC. Di segala lokasi, laju rata-rata mencapai 2 m/s. Meskipun fluktuasi kecepatan minim selama musim perairan terbuka di semua tempat, bahkan perubahan kecil dalam kecepatan selama masa peningkatan debit menghasilkan puncak daya yang jauh lebih besar. Ini disebabkan oleh keterkaitan daya dengan pangkat tiga dari kecepatan (sesuai dengan Persamaan (4)), sementara variabel lainnya dianggap konstan. Puncak daya diperhatikan terutama selama periode air tinggi yang biasanya terjadi pada awal Juni karena pencairan salju, dan pada bulan Agustus hingga Oktober karena curah hujan musiman. Titik daya paling tinggi ( $\geq 7$  kW) secara konsisten teramati di Chuathbaluk, sementara yang terendah ( $< 4$  kW) di Red Devil. Total sumber daya hidrokinetik (dalam MWh per OWS) dihitung untuk satu KTK dari jumlah Ptech harian (sesuai dengan Persamaan (4)), yang menyatukan daya sesaat dari keempat rotor (Brown et al., 2023).



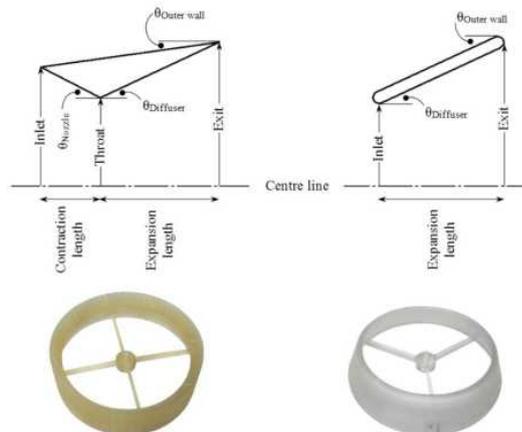
Gambar 2.1. Kecepatan yang dimodelkan dan rapat daya sesaat di Stony River, dan Chuathbaluk (Brown et al., 2023)





**Gambar 2.2.** Kecepatan yang dimodelkan dan rapat daya sesaat di Red Devil, Crooked Creek, dan Aniak (Brown et al., 2023)

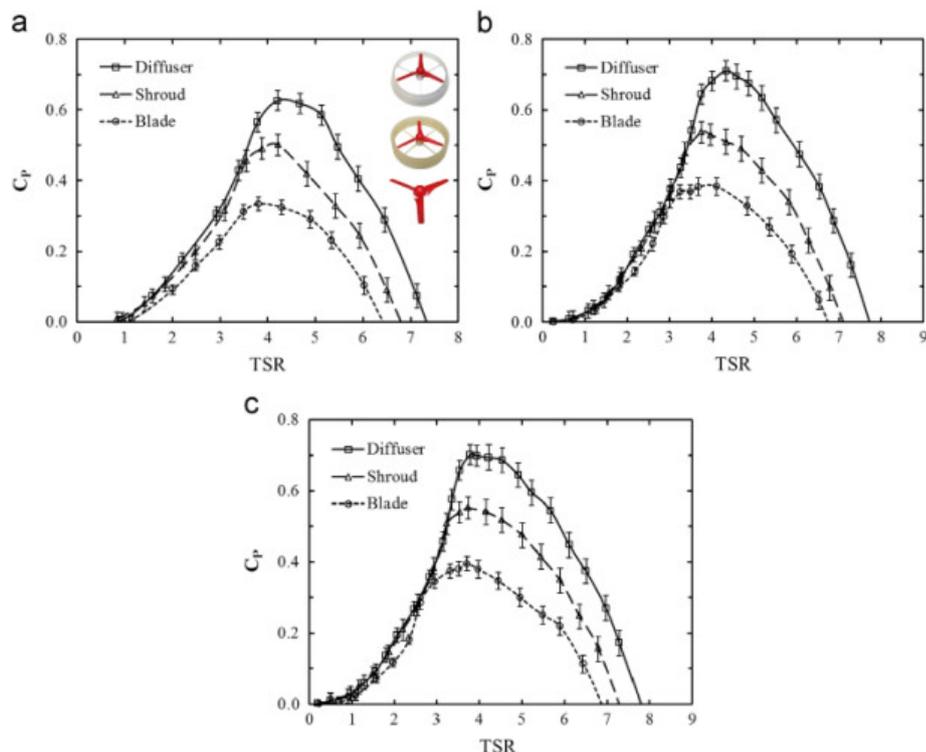
Selain itu Shamsavarifard, Mohammad dkk (2015). Meneliti tentang pengaruh selubung (*shroud*) terhadap kinerja turbin hidrokinetik sumbu horizontal. Mereka membandingkan 3 variasi diantaranya menggunakan *shroud*, *diffuser*, dan tanpa menggunakan salah satunya (*blade*). Mereka memperoleh hasil penelitian mereka yaitu penggunaan *diffuser* jauh lebih baik dibandingkan penggunaan variasi lainnya, baik itu pada kecepatan 0,7; 0,9; dan 0,1 m/s (Shamsavarifard et al., 2015).



**Gambar 2.3.** Bentuk profil skematik Shroud (Kiri) dan Diffuser (Kanan) (Shamsavarifard et al., 2015)



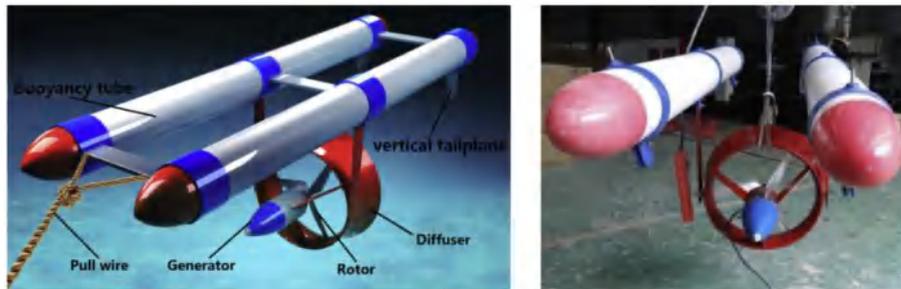
Gambar 2.4. menampilkan pola kinerja yang tetap stabil mulai dari nol, mencapai titik tertinggi pada TSR sekitar 4, dan kemudian menurun ketika mencapai sekitar 7 untuk ketiga konfigurasi. Ini menunjukkan bahwa TSR optimal untuk turbin berada di sekitar titik tengah kurva kinerja. Kecenderungan peningkatan kinerja yang konsisten juga terlihat untuk turbin yang tidak memiliki *shroud* dalam tiga diagram ketika *shroud* dan *diffuser* ditambahkan: *shroud* meningkatkan daya turbin hingga batas tertentu sementara *diffuser* menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi. Koefisien daya maksimum adalah 0,33, 0,38, dan 0,40 untuk turbin tanpa *shroud* pada kecepatan aliran masing-masing 0,7, 0,9, dan 1,1 m/s. Dengan penambahan *shroud*, koefisien daya maksimum meningkat menjadi 0,50, 0,54, dan 0,55, sedangkan dengan penambahan *diffuser*, meningkat menjadi 0,63, 0,71, dan 0,70. Selain itu, teramati bahwa penempatan selubung pada turbin cenderung mengubah nilai puncak kurva ke rasio kecepatan ujung yang lebih tinggi (Shahsavari et al., 2015).



**bar 2.4.** Kurva kinerja model turbin dengan dan tanpa selubung pada aliran (a) 0,7 m/s, (b) 0,9 m/s, dan (c) 1,1 m/s. (Shahsavari et al., 2015)

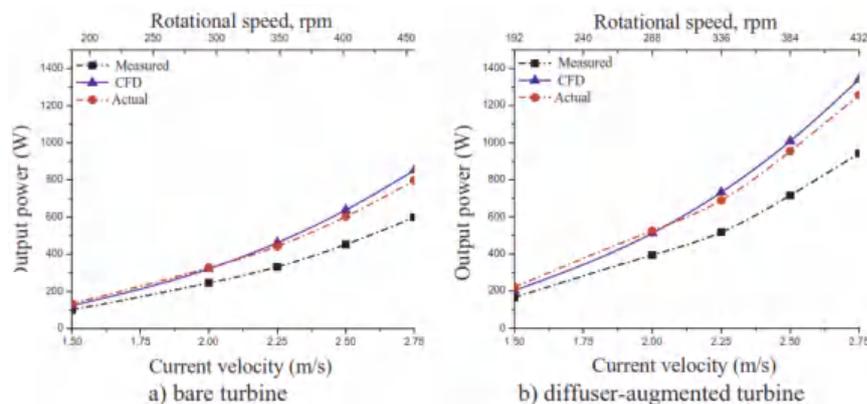


Song, Ke dkk (2019) menganalisa secara numerik dan eksperimen pengaruh penambahan difuser pada micro-hydro turbine. Daya keluaran yang diterapkan adalah fitur kinerja utama yang dianalisis berdasarkan eksperimen yang dilakukan pada kecepatan pulling carriage kondisi tunak 1,5 m/s hingga 2,75 m/s. Nilai eksperimen daya diukur pada kecepatan arus berbeda versus beban referensi. Nilai daya diambil dari pembacaan daya terukur yang dirata-ratakan melalui pengujian yang berbeda pada kecepatan arus terkontrol yang sama. Tingkat daya keluaran bervariasi seiring dengan perubahan beban referensi pada kecepatan arus yang sama, dan dalam rentang tertentu, beban referensi optimal dapat memungkinkan tingkat daya keluaran mencapai nilai maksimum (Song et al., 2019).



**Gambar 2.5.** Alat Uji Micro-Horizontal Axis Diffuser-Augmented Turbine (Song et al., 2019)

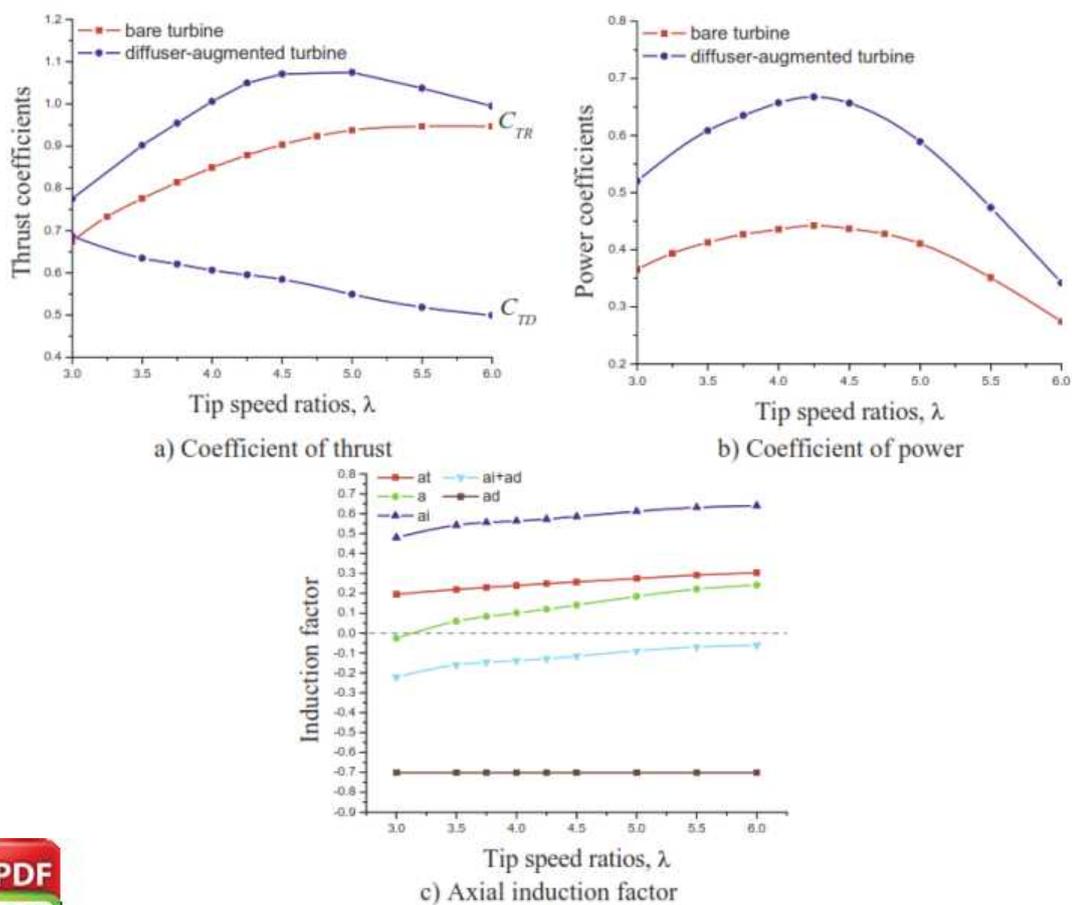
Tingkat daya keluaran maksimum yang diukur, tingkat daya keluaran aktual dan hasil CFD ditunjukkan pada Gambar. 2.6. Tingkat daya yang diukur untuk turbin diffuser-augmented dan bare turbin dicapai pada kecepatan arus yang sama, dan ini jelas menunjukkan bahwa daya keluaran maksimum sebesar turbin yang ditambah dengan diffuser hampir 1,6 kali lipat dari bare turbin.



**Gambar 2.6.** Perbandingan eksperimen dan CFD (Song et al., 2019)



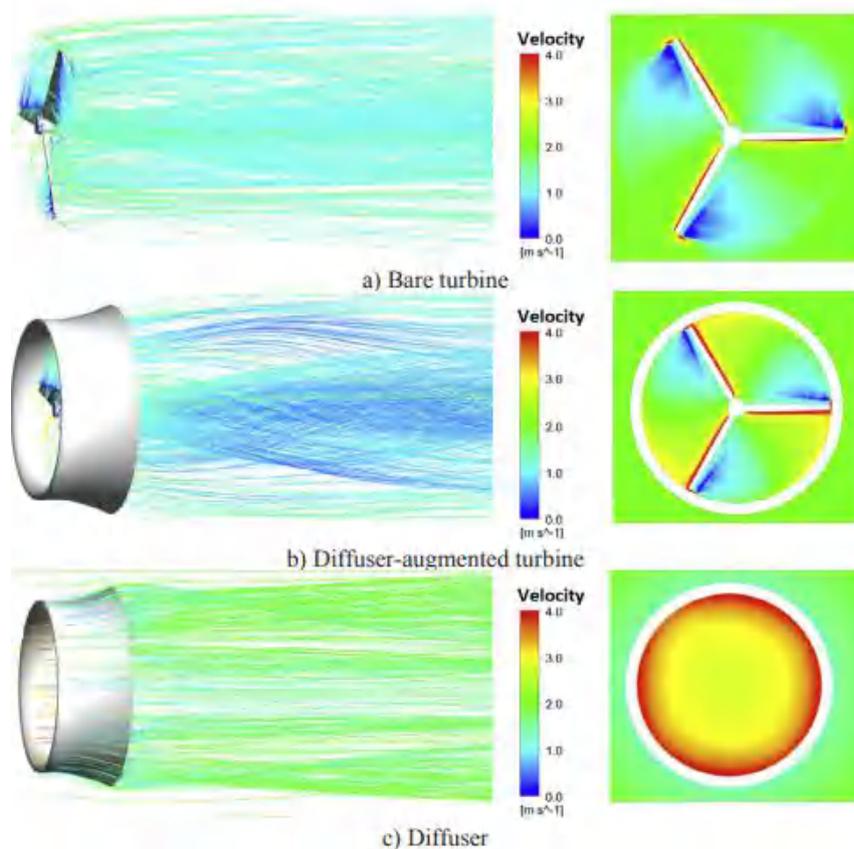
Tingkat daya keluaran aktual sesuai dengan hasil CFD. Dari pengujian bare turbin, deviasi rata-rata yang diukur pada lima kecepatan arus adalah 5,4% dan deviasi maksimum adalah 8,1%; dari pengujian turbin yang ditambah dengan diffuser, deviasi rata-rata yang diukur pada lima kecepatan arus adalah 5,8% dan deviasi maksimum adalah 8,0%. Menariknya, baik untuk bare turbin maupun turbin dengan diffuser-augment, kecepatan putaran meningkat seiring bertambahnya kecepatan arus, dan  $\lambda$  yang sesuai juga sedikit meningkat seiring bertambahnya kecepatan arus. Untuk bare turbin,  $\lambda$  meningkat dari 3,25 menjadi 4,34; untuk turbin augmented diffuser,  $\lambda$  meningkat dari 3,35 menjadi 4,11. Karena  $C_p$  tertinggi dari kedua kasus diperoleh ketika  $\lambda$  adalah 4,25, tampaknya terdapat kecepatan arus optimal yang memungkinkan MHDT mempertahankan kondisi kerja terbaik (Song et al., 2019).



2.7. Koefisien daya ( $C_p$ ), gaya dorong dan faktor induksi aksial versus  $\lambda$  pada kecepatan arus 2 m/s.



Nilai  $C_p$  dari data daya keluaran aktual juga dihitung berdasarkan Persamaan (10).  $C_p$  turbin yang ditambah diffuser kira-kira 0,624–0,666, dan bare turbin adalah 0,39–0,416 untuk rentang yang sama. Penting untuk dicatat bahwa meskipun nilai turbin yang ditambah diffuser melampaui garis batas Betz, hal ini tidak menunjukkan bahwa batas teoretis telah terlampaui. Batas Betz hanya berlaku untuk bare turbin, dan turbin yang ditambah diffuser menangkap area aliran yang lebih besar (Song et al., 2019).

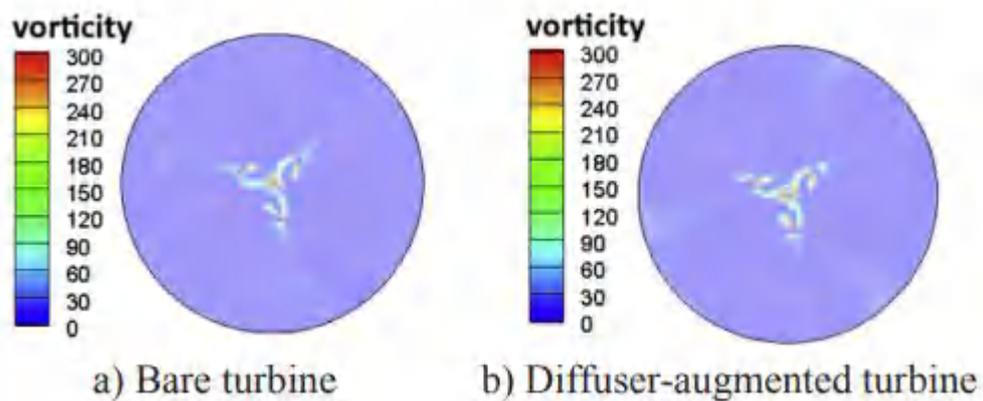


**Gambar 2.8.** Distribusi kecepatan pada kecepatan arus 2 m/s dan rotasi kecepatan 288 rpm. kiri: garis arus 3D, kanan: kecepatan aksial bidang transversal (Song et al., 2019)

Distribusi kecepatan yang diamati ditunjukkan pada Gambar 2.8. Kami menemukan bahwa kecepatan aksial maksimum bidang turbin transversal dari ng ditambah diffuser lebih tinggi daripada bare turbin, dan intensitas aliran arus di belakang bilah turbin. turbin dengan tambahan diffuser lebih tinggi dibandingkan dengan bare turbin. Dari gambar arus, diamati



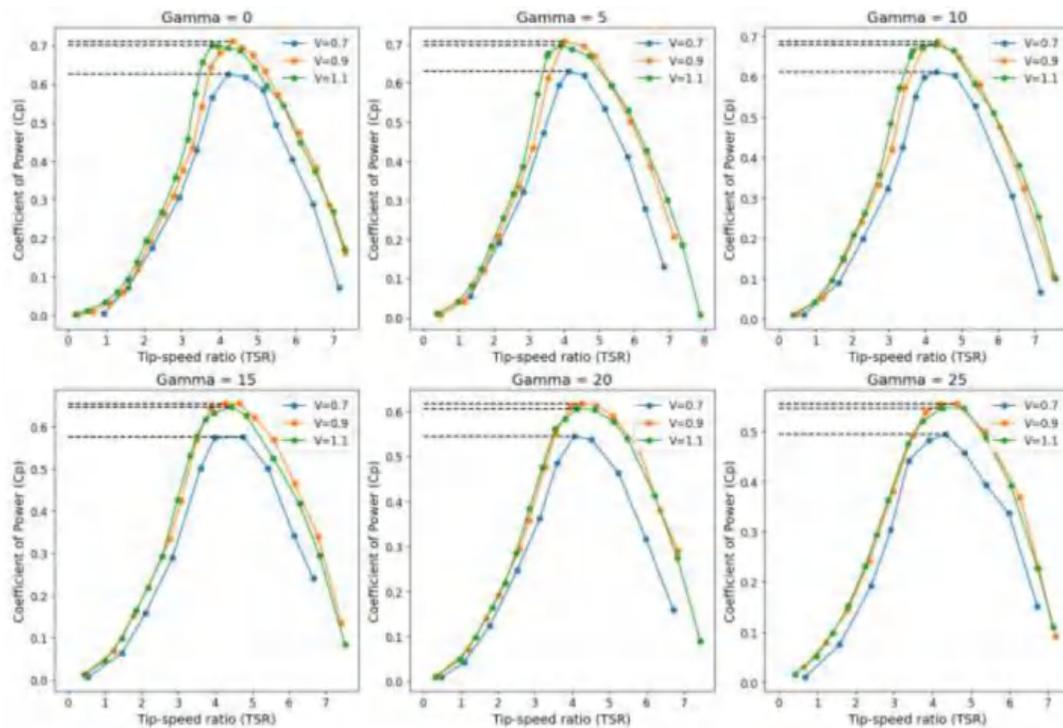
bahwa diffuser tunggal hampir menggandakan kecepatan aksial di bagian tenggorokan. Kecepatan arus air yang diamati di daerah bangun di belakang sudu turbin berpenyebar juga relatif lebih rendah dibandingkan bare turbin, menunjukkan bahwa turbin berpendifusi dapat mengekstraksi momentum aliran lebih banyak daripada bare turbin. Vortisitas aksial penampang melintang di belakang  $0,056D$  bidang tengah ditunjukkan pada Gambar 2.9. Intensitas putaran aliran arus di belakang sudu turbin saluran sedikit lebih tinggi, misalnya vortisitas aksial maksimum turbin yang ditambah diffuser lebih tinggi dari 12,4% turbin telanjang pada penampang melintang di belakang  $0,056D$  bidang tengah).



**Gambar 2.9.** Vortisitas aksial dari penampang melintang di belakang  $0,056D$  bidang tengah. (Song et al., 2019)

Nasrullah (2023) melakukan penelitian tentang kinerja turbin hidrokinetik dengan penambahan difuser pada kondisi yaw misalignment dengan variasi kecepatan  $0,7\text{m/s}$ ;  $0,9\text{m/s}$ ; dan  $1,1\text{ m/s}$ . Pada kecepatan aliran air diperoleh hasil pengamatan yang berbeda, dimana dengan peningkatan kecepatan aliran air tidak selalu mengakibatkan peningkatan nilai koefisien daya ( $C_p$ ). Ditemukan bahwa terdapat kondisi dimana nilai  $C_p$  maksimal tidak tercapai pada kecepatan aliran air yang lebih tinggi. Secara spesifik, nilai  $C_p$  maksimal yang ditemukan sebesar  $0.711$  dengan tip speed ratio (TSR) sebesar  $4.33$  pada sudut yaw  $0^\circ$  dan kecepatan aliran air sebesar  $0.9\text{ m/s}$ . Selain itu, dapat dilihat bahwa hampir pada semua sudut yaw, turbin hidrokinetik menghasilkan kinerja yang lebih baik pada aliran air sebesar  $0.9\text{ m/s}$  daripada pada kecepatan aliran air  $1.1\text{ m/s}$  (Nasrullah et al., 2023).



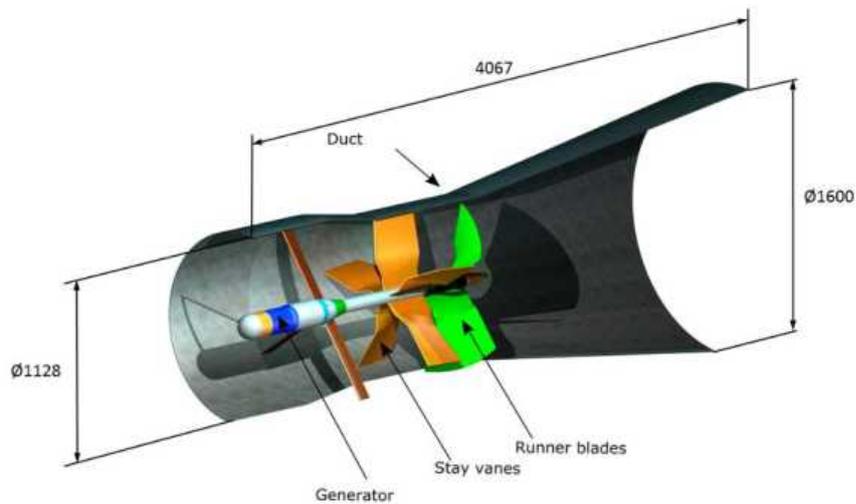


**Gambar 2.8.** Perbandingan nilai Cp pada setiap sudut yaw pada berbagai variasi kecepatan air (Nasrullah et al., 2023)

Fenomena ini mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan aliran air tidak selalu mengakibatkan peningkatan efisiensi turbin dalam menghasilkan daya, yang diakibatkan oleh desain diffuser berbentuk kerucut saat aliran air melintasi sudu-sudu turbin. Aliran air dengan kecepatan tinggi dan tekanan rendah terjadi, terutama saat melewati penampang yang lebih sempit, dan prinsip ini didasarkan pada hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa total tekanan fluida, kecepatan fluida, dan ketinggian fluida selalu tetap (Wang et al., 2023).

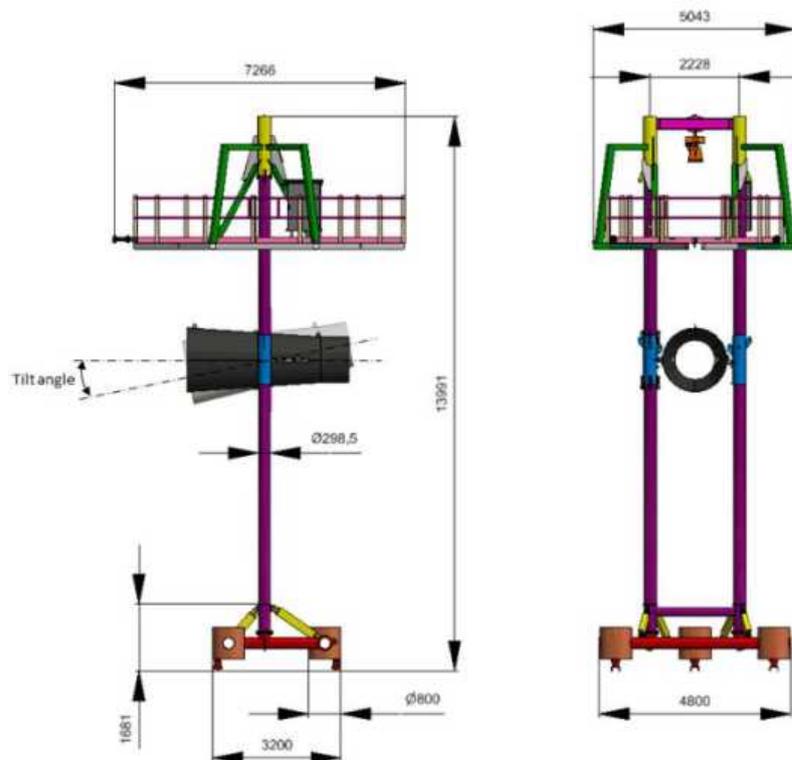
Sementara penelitian lainnya dimana Alligne, Cecile Munch dkk (2018) melakukan eksperimen turbin kinetik pada tailrace canal, Switzerland. Mereka bervariasi kedalaman turbin kinetik mereka dan juga kemiringan dari turbin hidrokinetik mereka.





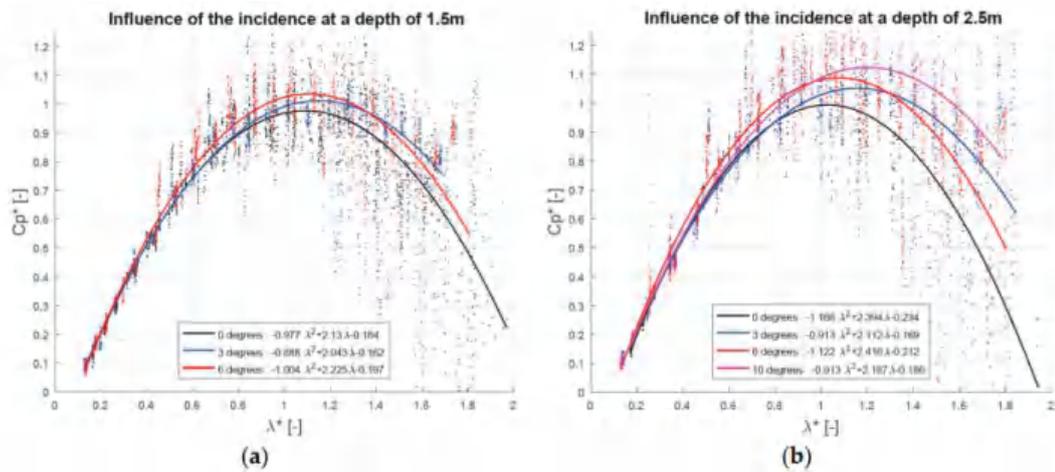
**Gambar 2.9.** Sketsa prototipe turbin kinetik beserta panjang karakteristik utamanya (Münch-Alligné et al., 2018)

Diperoleh bahwa dengan adanya variasi kemiringan dari turbin hidorkinetik maka nilai koefisien daya ( $C_p$ ) akan meningkat dibandingkan tanpa adanya kemiringan dari turbin hidrokinetik itu sendiri (Münch-Alligné et al., 2018).



**ar 2.10.** Skema Alat Uji Turbin Hidrokinetik dengan variasi kemiringan (Münch-Alligné et al., 2018)





**Gambar 2.11.** Koefisien daya untuk kemiringan berbeda dari 0 hingga 10 derajat, untuk dua kedalaman (a) 1,5 m dan (b) 2,5 m (Münch-Alligné et al., 2018)

Gambar 2.11. menunjukkan pengaruh kemiringan sumbu mesin. Pengukuran dilakukan pada kemiringan yang berbeda: 0, 3, 6, dan 10 derajat. Kurva pemasangan juga didasarkan pada fungsi polinomial kuadrat untuk nilai kemiringan yang dieksplorasi.

Kemiringan alat uji meningkatkan kinerjanya. Peningkatan sebesar 3% antara 0 dan 3 derajat teramati, sedangkan peningkatan sebesar 6% dicapai antara 0 dan 6 derajat untuk kedalaman pengujian 1,5 m. Pada kedalaman 2,5 m, kesenjangan semakin signifikan, dengan peningkatan mencapai lebih dari 12%. Nilai maksimum dicapai untuk kemiringan 10°. Sayangnya, kemiringan yang lebih tinggi tidak dapat dicapai dengan fasilitas yang ada saat ini. Simulasi numerik lebih lanjut dapat digunakan untuk mengidentifikasi nilai kemiringan kritis ketika koefisien daya menurun. Untuk menjelaskan peningkatan koefisien daya, salah satu faktor kuncinya adalah efek penyumbatan global turbin di saluran (Münch-Alligné et al., 2018).

Peningkatan rasio penyumbatan menyebabkan deformasi lokal yang lebih besar pada permukaan bebas di atas turbin, energi yang dimanfaatkan oleh turbin akan hilang karena aliran permukaan bebas. Ini berarti peningkatan energi yang tersedia antara saluran masuk dan saluran keluar turbin. Pada keadaan ini, energi hidrolik yang tersedia untuk turbin terutama merupakan energi dari aliran yang masuk ke mesin dan melintasi runner. Ketika sumbu turbin



dimiringkan, perbedaan energi potensial antara bagian masuk dan keluar yang disebabkan oleh efek penyumbatan ikut serta dalam energi hidrolis yang tersedia untuk turbin dan dengan demikian koefisien daya yang lebih tinggi tercapai (Münch-Alligné et al., 2018).

Tabel 2.1 dan 2.2. merangkum nilai optimal untuk koefisien daya dan rasio kecepatan tip selama rangkaian pengukuran

**Tabel 2.1.** Optimal tip speed ratio (Münch-Alligné et al., 2018)

Optimal $\lambda^*$			
depth	1 m	1.5 m	2.5 m
0 degrees	0.97	1.11	1
3 degrees	-	1.17	1.16
6 degrees	-	1.08	1.08
10 degrees	-	-	1.18

**Tabel 2.2.** Optimal power coefficient (Münch-Alligné et al., 2018)

Optimal $C_p^*$			
depth	1 m	1.5 m	2.5 m
0 degrees	0.93	0.98	1
3 degrees	-	1.02	1.05
6 degrees	-	1.04	1.09
10 degrees	-	-	1.12

Sebagai pengingat, nilai yang diharapkan dari tahap desain masing-masing adalah 2,65 dan 0,85 untuk rasio kecepatan ujung nominal  $\lambda$  dan koefisien daya  $C_p$ , masing-masing sesuai dengan 1,20 untuk  $\lambda$  dan 1,02 untuk  $C_p$  menggunakan normalisasi dengan kasus referensi. Dapat diamati bahwa nilai target koefisien daya tercapai dan bahkan terlampaui untuk pertunjukan yang menggunakan efek kemiringan. Pengaruh terhadap kedalaman tidak diharapkan, karena koefisien daya lebih tinggi di dekat dasar kanal. Salah satu penjelasannya adalah efek platform base, yang menciptakan efek penyumbatan lokal pada aliran dan dengan demikian meningkatkan kecepatan aliran di dalam turbin. Hal ini harus dikonfirmasi dengan penyelidikan lebih lanjut menggunakan simulasi numerik. Pengaruh sudut kemiringan dapat diamati dengan jelas pada Tabel 2.2 untuk setiap kedalaman yang

lal ini dapat dijelaskan dengan meningkatnya efek penyumbatan global. juga telah dikonfirmasi menggunakan simulasi numerik. Terakhir, nilai daya yang lebih tinggi dicapai pada kemiringan 10 derajat dan kedalaman



2,5 m. Untuk kondisi tersebut, koefisien daya sama dengan 0,93 atau 1,12 menggunakan normalisasi dengan kasus referensi.

Kemiringan pada turbin hidrokinetik, meskipun dapat meningkatkan efisiensi di daerah hulu, juga membawa sejumlah kekurangan yang perlu diperhatikan secara cermat. Salah satu masalah utama adalah bahwa aliran fluida yang miring dapat menyebabkan peningkatan kecepatan fluida sepanjang rotor. Ini bisa menjadi ancaman karena, meskipun pada awalnya mungkin tampak menguntungkan untuk meningkatkan efisiensi, peningkatan kecepatan fluida dapat menimbulkan beban tambahan pada struktur turbin dan akhirnya dapat merusak turbin secara keseluruhan (Barthelmie et al., 2020).

Selain itu, memberikan kemiringan pada rotor di daerah hulu juga berpotensi untuk meningkatkan shear di sepanjang rotor. Shear yang lebih tinggi ini, atau perbedaan kecepatan aliran antara lapisan fluida yang berdekatan, dapat memperparah beban struktural dan mempercepat proses kerusakan turbin (Johlas et al., 2022). Kondisi shear yang tinggi ini dapat menyebabkan tekanan tambahan pada komponen turbin, yang pada gilirannya dapat mengurangi umur pakai dan kinerja keseluruhan dari turbin hidrokinetik.

Oleh karena itu, meskipun kemiringan pada turbin hidrokinetik dapat meningkatkan efisiensi di bagian hulu, penting untuk mempertimbangkan dampak negatifnya terhadap kestabilan struktural dan kinerja turbin secara keseluruhan. Solusi yang baik mungkin melibatkan pengoptimalan desain turbin untuk menangani kemiringan yang diinginkan tanpa menimbulkan beban tambahan yang merugikan. Hal ini menekankan pentingnya keseimbangan antara peningkatan kinerja dan menjaga integritas struktural dalam pengembangan dan implementasi turbin hidrokinetik.

Sehingga salah satu solusi dari permasalahan diatas yaitu perlu adanya pengarah yang memusatkan dan mempercepat aliran fluida ke dalam turbin. Khususnya pada fluida air dalam pengaplikasian turbin hidrokinetik. Beberapa penelitian tentang pengaplikasian pengarah yang memusatkan dan mempercepat aliran fluida angin ke dalam turbin telah dilakukan dengan menggunakan teknologi Invelox adalah konsep revolusioner dalam turbin angin segala arah,



mengumpulkan angin dari semua arah hingga ke permukaan tanah untuk operasi yang aman, kuat, dan efisien biaya (Suthagar et al., 2020). Keunggulan Invelox adalah bahwa ia menangkap aliran angin melalui saluran masuk segala arah dan oleh karena itu tidak memerlukan kontrol yaw pasif atau aktif (Allaei & Andreopoulos, 2014). Selain itu, invelox memberikan solusi untuk semua masalah utama yang selama ini menghambat industri angin, seperti rendahnya kehandalan turbin, masalah intermitensi, dan dampak lingkungan serta radar yang merugikan (Allaei & Andreopoulos, 2014). Dengan penggunaan invelox yang dimodifikasi lebih pendek Hasil simulasi dapat mengekstrak energi 432% lebih besar dibanding dengan sistem tradisional (Nardecchia et al., 2021). Hal ini telah dibuktikan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Nardheccia, Fabio dkk (2021) mereka melakukan beberapa konfigurasi variasi penggunaan invelox diantaranya (Nardecchia et al., 2021):

- *Configuration 1 - Lower cone and elbow sections,*
- *Configuration 2 - Constant section after the elbow,*
- *Configuration 3 - Convergent-divergent diameter,*
- *Configuration 4 - Constant section after the exit,*
- *Configuration 5 - Lower cone inlet diameter, dan*
- *Configuration 6 - Upper cone*

Melalui semua simulasi yang dilakukan dan dirinci sebelumnya untuk seluruh konfigurasi yang dilakukan, konfigurasi akhir, yang ditunjukkan pada Gambar 2.12,

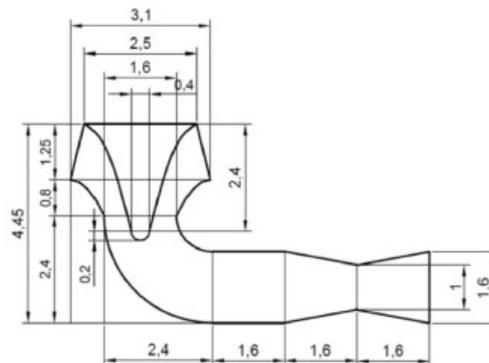


Fig. 2.12. Geometri dan dimensi sistem yang dirancang (Nardecchia et al., 2021)



Hasil yang dicapai dengan sistem di atas ditunjukkan pada Tabel 2.3. Rasio  $V_v/V_{in} = 1,74$  diperoleh dan efektivitas penggunaan perangkat ini terlihat jelas ketika membandingkan daya maksimum yang dapat diekstraksi dari turbin yang sama yang ditempatkan di dalam sistem yang dirancang dan dipasang di lapangan terbuka; peningkatan  $P_{r,max}$  mencapai 427%, suatu hasil yang luar biasa, jika rotor ditempatkan di bagian Venturi pada sistem.

**Tabel 2.3.**  $V_v$ ,  $m_v$ , dan  $\Delta P_{r,max}$  untuk Konfigurasi Final (Nardecchia et al., 2021)

CONFIGURATIONS	$\bar{V}_v$ [m/s]	$\dot{m}_v$ [kg/s]	$P_{r,max}$ [W]
Final configuration	11.66	11.21	449.39
Turbine installed in an open field	6.7	6.44	85.32

Tabel 2.4. menunjukkan nilai  $V_v$ ,  $V_v/V_{in}$  dan  $m_v$  yang diperoleh untuk masing-masing nilai  $V_{in}$ . Perhatikan bahwa rasio antara kecepatan rata-rata di bagian Venturi dan kecepatan angin tidak terganggu kira-kira tetap konstan (berfluktuasi antara 1,68 dan 1,75); ini berarti perangkat ini efisien untuk setiap nilai kecepatan angin tidak terganggu yang terjadi pada input.

**Tabel 2.4.**  $V_v$ ,  $V_v/V_{in}$ ,  $m_v$ ,  $\Delta P_{r,max}$  dengan dan tanpa perangkat dan  $\Delta P_{r,max}$  diperoleh untuk setiap nilai  $V_{in}$  yang diuji ( $\alpha = 0^\circ$ ) (Nardecchia et al., 2021)

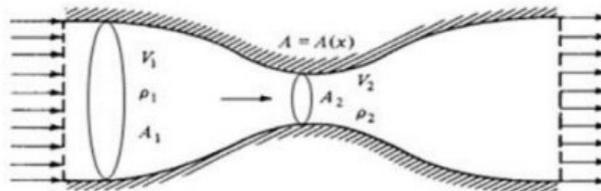
$V_{in}$ [m/s]	$\bar{V}_v$ [m/s]	$\bar{V}_v/V_{in}$	$\dot{m}_v$ [kg/s]	$P_{r,max}$ with the device [W]	$P_{r,max}$ in open field [W]	$\Delta P_{r,max}$ [%]
1	1.68	1.68	1.62	1.36	0.28	378
2	3.42	1.71	3.29	11.36	2.27	401
3	5.17	1.72	4.97	39.16	7.66	411
4	6.92	1.73	6.65	93.82	18.16	417
5	8.66	1.73	8.33	184.39	35.46	420
6	10.42	1.74	10.02	320.93	61.27	424
6.7	11.66	1.74	11.21	449.39	85.32	427
7	12.18	1.74	11.71	512.25	97.30	426
8	13.95	1.74	13.41	769.30	145.24	430
9	15.70	1.74	15.10	1098.35	206.80	431
10	17.46	1.75	16.79	1509.95	283.68	432

Selain itu, untuk memahami efisiensi perangkat, daya maksimum yang dapat dimanfaatkan dibandingkan dengan turbin yang sama yang dipasang di lapangan terbuka. Oleh karena itu, perbedaan persentase relatif antara kedua nilai ( $\Delta P_{r,max}$ ) dihitung untuk setiap intensitas angin (Tabel 10). Nilai  $\Delta P_{r,max}$ , maks yang diperoleh antara 378% dan 432%, jauh lebih tinggi dibandingkan yang diperoleh (012; Nardecchia et al., 2020) ( $\Delta P_{r,max} = 339\%-394\%$ ).



## 2.2. Energi Hidrokinetik

Energi hidrokinetik merupakan energi yang dihasilkan dari proses ekstraksi aliran sungai dengan *head* yang terbatas. *Head* yang rendah dan jarak aliran yang cukup jauh membuat beberapa peneliti mengasumsikan bahwa pada energi hidrokinetik ini tidak memiliki *head* (Kirke, 2019), sementara air mengalir alami dari hulu ke hilir. Penurunan persamaan 1 diatas dapat dilakukan dengan menganggap *head* mendekati nol. Hasil penurunan persamaan yang diperoleh dapat diaplikasikan untuk mencari *pressure drop* yang terjadi pada aliran fluida.



**Gambar 2.13.** Ilustrasi aliran fluida dengan penyempitan pada titik A2

(Piancastelli et al., 2017)

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad ..(1)$$

Dari persamaan kontinuitas dapat diketahui hubungan  $v_1$  dan  $v_2$  dengan uraian sebagai berikut:

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{A_2}{A_1} \quad ..(2)$$

Setelah persamaan 1 disubstitusi kedalam persamaan 2 maka diperoleh persamaan beda tekanan ( $\Delta p$ ) seperti berikut;

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \left( \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right) \quad ..(3)$$

Beberapa variabel yang mempengaruhi daya yang dihasilkan suatu peralatan pengarah dalam meningkatkan daya keluaran adalah;

1. Kecepatan aliran fluida.
2. Luas penampang model yang berpengaruh terhadap gaya dorong fluida.
3. Implikasi daya akibat terjadinya perubahan bentuk profil.

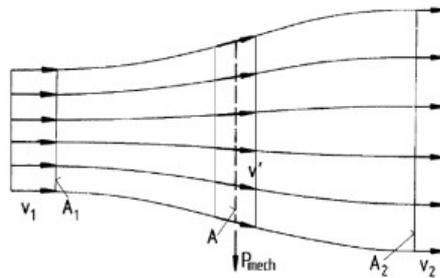


Manfaat energi kinetik air sungai untuk dikonversi menjadi energi mekanis yaitu dengan menggunakan turbin. Pada dasarnya turbin ini bekerja prinsip yang sama dengan turbin *hydropower* lainnya, di mana energi

kinetik dari aliran fluida digunakan untuk memutar konverter energi elektromekanis dan selanjutnya menghasilkan listrik. Persamaan yang mengatur dalam konversi energi tersebut adalah:

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

Apabila fluida mengalir melewati konverter dengan *mass flow rate* tetap seperti gambar berikut:



**Gambar 2.14.** kondisi aliran karena ekstraksi energi mekanik pada aliran (Hau, 2005)

Fluida menurut teori dasar momentum Sehingga persamaan (4) menjadi;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \quad ..(5)$$

mempertahankan aliran massa tetap persamaan kontinuitas mempersyaratkan  $\rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2$  maka;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v_1 (v_1^2 - v_2^2) \quad ..(6)$$

atau

$$P = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} (v_1^2 - v_2^2) \quad ..(7)$$

Dengan menggunakan hukum kekekalan momentum, maka persamaan (7) diatas akan menghasilkan daya fluida yang diberikan ke konverter menjadi (Hau, 2005);

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \quad ..(8)$$

Persamaan (8) diatas merupakan daya mekanik yang dihasilkan konverter.

laya aliran fluida ditentukan  $P_o$  maka daya mekanik yang dapat diekstrak dari aliran fluida  $P_T$  menjadi;

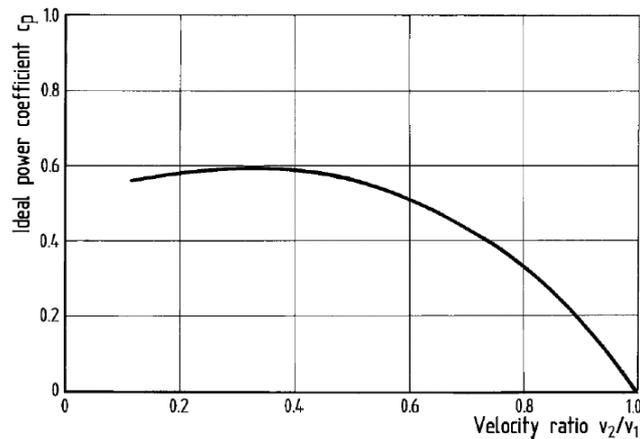
$$P_T = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \quad ..(9)$$



Rasio daya mekanik yang diekstrak oleh konverter terhadap daya aliran fluida disebut koefisien daya ( $C_p$ ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_T}{P_o} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3} \quad ..(10)$$

Koefisien daya dapat secara langsung sebagai fungsi dari rasio kecepatan dengan grafik sebagai berikut:

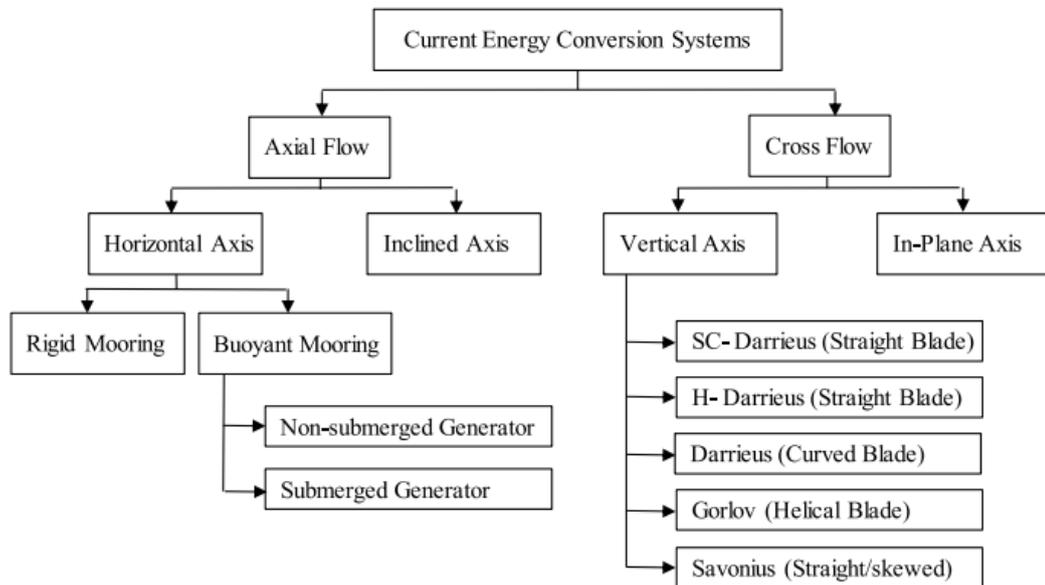


**Gambar 2.15.** grafik *Betz's elementary* hubungan koefisien daya aliran terhadap rasio kecepatan sebelum dan sesudah konverter (Hau, 2005)

### 2.3. 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 (Schleicher et al., 2013), 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 (Rezek et al., 2021). Turbin hidrokinetik juga sering disebut dengan turbin propeller karena dalam pengoperasiannya tidak membutuhkan head yang tinggi, sehingga cocok dipasang di area yang tidak memiliki head sama sekali.

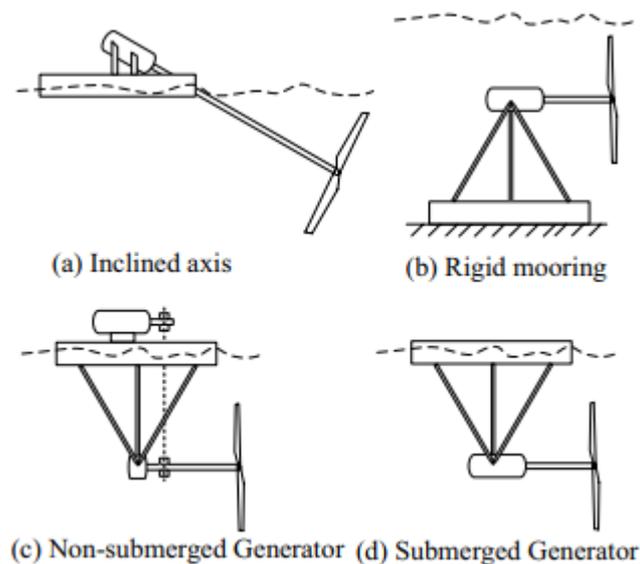




**Gambar 2.16.** Klasifikasi Turbin Hidrokinetik (Khan et al., 2006)

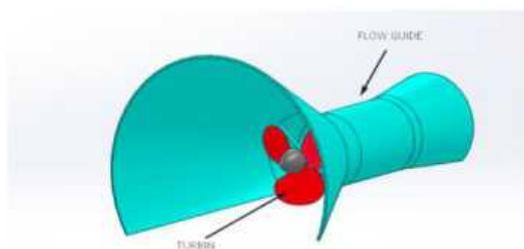
Klasifikasi turbin hidrokinetik pada dasarnya dapat dibuat sebagai sumbu horizontal atau Horizontal Axial Hydrokinetic Turbine (HAHT) dan sumbu vertikal atau Vertical Axial Hydrokinetic Turbine (VAHT) (Parker, 1992). Turbin horisontal memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan turbin vertikal (Lain et al., 2019). 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 (Guner et al., 2018). Turbin axial diklasifikasikan seperti pada Gambar 2.17. yaitu a) Inclined Axis, b) Rigid Mooring, c) Non-Submerged Generator, d) Submerged Generator





**Gambar 2.17.** Axial Flow Turbines (Khan et al., 2006)

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 (Patel et al., 2019).



**Gambar 2.18.** Turbin Hidrokinetik (Rendi & Arifin, 2019)

#### 2.4. Pressure Drop



Pressure drop adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik ke titik yang lainnya yang diakibatkan oleh gesekan yang terjadi antara dua titik tersebut, pressure drop berhubungan dengan

kecepatan fluida dan viskositas fluida (Gerhart et al., 2016; Mulyana & Riyandi, 2019),

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad \text{..(11)}$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Kecepatan air (m/s)

### 2.5. Daya

Daya merupakan laju energi yang dihantarkan selama melakukan usaha dalam periode waktu tertentu. Satuan SI (Satuan Internasional) untuk daya yaitu Joule I 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),  $1 \text{ hp} = 746 \text{ Watt}$ . Daya adalah besaran skalar, karena daya hanya mempunyai nilai, tidak memiliki arah.

### 2.6. 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 (Vasabri Genta Maulana et al., n.d.).

Energi kinetik dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Vasabri Genta Maulana et al., n.d.) :

$$KE = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \text{..(12)}$$

Dimana  $m$  merupakan laju aliran massa yang memiliki persamaan sebagai berikut (Vasabri Genta Maulana et al., n.d.) :

$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad \text{..(13)}$$

Sehingga water power dapat dinyatakan sebagai daya yang melalui ng dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Vasabri Genta et al., n.d.)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \text{..(14)}$$



Dimana:

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

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

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

## 2.7. 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 14 dan 15 (Hau, 2005).

$$P_t = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \quad ..(15)$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

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

$V_1$  = Kecepatan air masuk ( $\text{m/s}$ )

$V_2$  = Kecepatan air keluar ( $\text{m/s}$ )

## 2.8. Power Coefficient (CP)

Rasio antara mechanical power yang terekstraksi oleh rotor dan potensi energi yang ada pada aliran sungai biasa disebut dengan power coefficient ( $C_p$ ) (Hau, 2005). 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 (Sierra et al., 2018).

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} = \frac{\frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3} \quad ..(16)$$

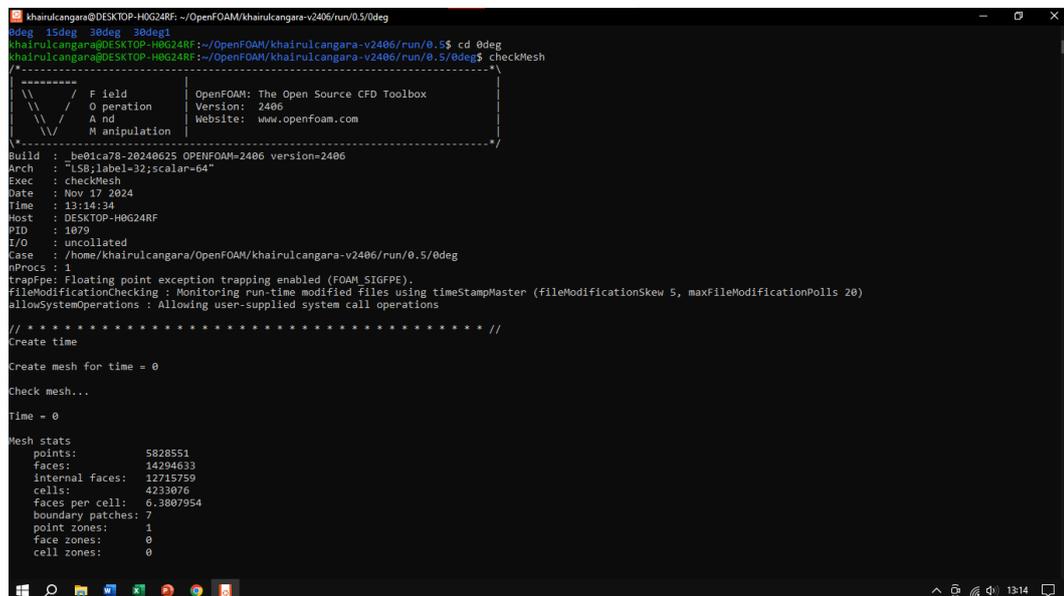


nFOAM

nFOAM adalah platform perangkat lunak komputasi open-source yang li sistem operasi Linux dan dirancang khusus untuk menangani berbagai

masalah teknik kompleks. OpenFOAM banyak digunakan dalam simulasi dinamika fluida komputasi (CFD), yang mencakup berbagai aplikasi seperti analisis aliran fluida, perpindahan panas, dan aliran multifase (Jasak et al., 2013; Masoomi et al., 2023; Robertson et al., 2015). Keunggulannya sebagai platform open-source memberi fleksibilitas pengguna untuk mengembangkan dan menyesuaikan modul sesuai kebutuhan penelitian atau industri mereka, memungkinkan akses tanpa batas terhadap algoritma yang kuat tanpa batasan lisensi komersial.

OpenFOAM kini diakui luas di dunia akademis dan industri sebagai solusi yang handal dan ekonomis untuk simulasi teknik yang mendalam. Selain CFD, penggunaannya telah meluas ke berbagai aplikasi teknik, seperti analisis struktural dan simulasi elektro-hidrodinamika. Dukungan komunitas global yang kuat telah membuat OpenFOAM menjadi lebih berkembang dengan cepat, dilengkapi berbagai pustaka untuk mengatasi beragam tantangan di bidang teknik. Setiap rilis OpenFOAM membawa perbaikan dan fitur baru yang meningkatkan efisiensi serta ketepatan simulasi, menjadikannya alat yang terus relevan dan berdaya saing dalam dunia riset teknik dan industri.



```
khairulcangara@DESKTOP-H0G24RF: ~/OpenFOAM/khairulcangara-v2406/run/0.5/0deg
0deg 15deg 30deg 30deg1
khairulcangara@DESKTOP-H0G24RF: ~/OpenFOAM/khairulcangara-v2406/run/0.5$ cd 0deg
khairulcangara@DESKTOP-H0G24RF: ~/OpenFOAM/khairulcangara-v2406/run/0.5/0deg$ checkMesh

-----
Field          OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
Operation      Version: 2406
And           Website: www.openfoam.com
Manipulation
-----

Build : be81ca78-20240625 OPENFOAM-2406 version=2406
Arch  : "LSB;label=32;scalar=64"
Exec  : checkMesh
Date  : Nov 17 2024
Time  : 13:14:34
Host  : DESKTOP-H0G24RF
PID   : 1079
I/O   : uncalculated
Case  : /home/khairulcangara/OpenFOAM/khairulcangara-v2406/run/0.5/0deg
nProc : 1
trappe: Floating point exception trapping enabled (FOAM_SIGFPE).
fileModificationChecking : Monitoring run-time modified files using timeStampMaster (fileModificationSkew 5, maxFileModificationPolls 20)
allowSystemOperations : Allowing user-supplied system call operations

// *****

Create time

Create mesh for time = 0
Check mesh...
Time = 0

Mesh stats
points:           5828551
faces:           14294633
internal faces:  12715759
cells:           4233076
faces per cell:  0.3807954
boundary patches: 7
point zones:    1
face zones:    0
cell zones:    0
```

Gambar 2.19. Tampilan OpenFOAM

