

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi global saat ini mendorong upaya pencarian sumber energi baru yang lebih ekonomis dan tersedia dalam jumlah melimpah. Hal ini tidak terlepas dari meningkatnya konsumsi energi di berbagai sektor. Selama ini, minyak bumi, gas alam, dan batu bara menjadi sumber energi utama yang umum digunakan. Sementara itu, energi alternatif seperti tenaga air, panas bumi, energi surya, dan nuklir masih dalam tahap pengembangan. Kita menyadari bahwa ketersediaan minyak bumi, gas alam, dan batu bara sangat terbatas, ditambah dengan kecenderungan meningkatnya harga ketiga sumber energi tersebut. Kondisi ini menjadi tantangan tersendiri yang mendorong kita untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil (Sugiono et al., 2022).

Indonesia adalah negara kepulauan dengan jumlah penduduk terbanyak keempat di dunia, yaitu sekitar 267 juta jiwa. Setiap tahun, pertumbuhan penduduk di Indonesia terus mengalami peningkatan. Peningkatan jumlah penduduk ini berdampak langsung pada meningkatnya kebutuhan energi nasional. Energi menjadi kebutuhan mendasar bagi manusia, dan hingga saat ini, masyarakat masih sangat bergantung pada energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Padahal, bahan bakar fosil merupakan sumber daya tak terbarukan dan penggunaannya turut menyumbang pencemaran lingkungan. Keterbatasan cadangan energi fosil serta dampak lingkungannya mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Aditama, 2023).

Pertumbuhan jumlah penduduk berkontribusi terhadap meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Nasional, jumlah penduduk Indonesia mengalami kenaikan sekitar 1,38% setiap tahunnya.



Permintaan energi listrik diperkirakan akan tumbuh sebesar 6,6% per tahun dari tahun 2013 hingga 2050. Namun, tantangan yang dihadapi saat ini adalah pasokan listrik, terutama di wilayah yang sulit dijangkau oleh tenaga listrik (Harfi et al., 2022).

Energi air memiliki peran penting sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang masih dapat dioptimalkan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi, mengingat sebagian besar wilayah Indonesia merupakan kawasan perairan. Sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dan mampu menurunkan emisi gas rumah kaca, pemanfaatan energi air juga sejalan dengan upaya pemerintah dalam mendorong penyediaan energi berbasis sumber energi baru dan terbarukan (Rahayu & Windarta, 2022).

Salah satu instalasi yang dapat dimanfaatkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan aliran air sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. Energi air ini dapat berasal dari sungai, air terjun, atau saluran irigasi (Kusnadi et al., 2018). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) terdiri dari tiga komponen utama, yaitu air sebagai sumber energi kinetik, turbin sebagai pengubah energi, dan generator sebagai penghasil listrik. Di antara ketiga komponen tersebut, turbin memegang peranan penting karena berfungsi sebagai konverter utama yang mengubah energi kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik, yang selanjutnya diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik (Saputra et al., 2020).

Turbin merupakan mesin penggerak utama yang berfungsi mengubah energi dari aliran fluida, seperti air atau gas, menjadi energi mekanik. Salah satu jenisnya adalah turbin air, yaitu turbin yang memanfaatkan aliran air dari ketinggian tertentu untuk menghasilkan energi. Dalam proses ini, energi potensial air dikonversi menjadi energi mekanik melalui pergerakan sudu-sudu turbin. Selanjutnya, energi mekanik yang dihasilkan digunakan untuk memutar poros turbin yang terhubung dengan generator, sehingga menghasilkan energi listrik. Secara prinsip, turbin air bekerja dengan cara mengubah energi potensial dari air menjadi energi mekanik. Aliran air diarahkan melalui nosel untuk menghasilkan semburan bertekanan tinggi yang diarahkan ke sudu-sudu turbin. Semburan ini menyebabkan sudu berputar, sehingga



... turbin ikut berputar dan meneruskan energi rotasi tersebut ke generator listrik. Sama konversi energi yang digunakan, turbin air diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi (Duma et al., 2023).

Turbin impuls merupakan salah satu jenis turbin air yang bekerja pada kondisi dimana tekanan aliran air yang keluar dari nosel memiliki nilai yang

sama dengan tekanan atmosfer di lingkungan sekitar turbin. Pada sistem ini, energi potensial yang terkandung dalam air pada elevasi tertentu terlebih dahulu dikonversi menjadi energi kinetik melalui saluran pipa pesat (*penstock*). Selanjutnya, aliran air berkecepatan tinggi diarahkan ke turbin melalui sebuah komponen yang disebut nosel. Ukuran penampang nosel dirancang lebih kecil dibandingkan dengan pipa pesat, sehingga aliran air yang melewatinya mengalami percepatan signifikan dan keluar dengan kecepatan yang sangat tinggi. Aliran air berkecepatan tinggi tersebut kemudian diarahkan langsung ke sudu-sudu turbin. Ketika air mengenai sudu, terjadi perubahan arah aliran yang mengakibatkan perubahan momentum. Perubahan momentum ini menghasilkan gaya reaksi yang menyebabkan roda turbin berputar. Proses inilah yang menjadi dasar prinsip kerja turbin impuls, di mana konversi energi kinetik menjadi energi mekanik terjadi sepenuhnya pada sudu turbin tanpa adanya perubahan tekanan sepanjang lintasan fluida dalam sudu (Mafruddin & Irawan, 2020).

Pada penelitian variasi jarak pancaran air nosel yang dilakukan oleh Hanun Damar Aditama (2023), menunjukkan bahwa variasi jarak antara nosel dan sudu turbin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap daya keluaran turbin Pelton. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa peningkatan debit air seiring dengan variasi jarak nosel turut meningkatkan daya turbin yang dihasilkan. Dari tiga variasi jarak yang diuji (25 mm, 50 mm, dan 75 mm), nilai daya tertinggi diperoleh pada jarak semprot nosel 50 mm dengan debit air sebesar 0,003114 m³/s pada kondisi pembebanan 40 kg, menghasilkan daya turbin sebesar 51,197 watt. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa efisiensi turbin turut dipengaruhi oleh variasi jarak semprot nosel. Efisiensi tertinggi terletak pada jarak 50 mm dengan debit air 0,001854 m³/s pada pembebanan 10 kg, menghasilkan efisiensi sebesar 72,49%. Hal ini disebabkan karena efisiensi turbin dipengaruhi oleh perbandingan antara daya keluaran turbin dan daya potensial air yang masuk. Jarak semprot nosel yang optimal berperan penting dalam memaksimalkan transfer energi kinetik dari aliran air ke sudu turbin. Pada jarak 50 mm, aliran air yang disemprotkan mengenai sudu turbin Pelton



momentum yang tepat, sehingga energi kinetik air dapat diserap oleh sudu. Sebaliknya, pada jarak 25 mm dan 75 mm, terjadi pantulan balik air akibat sudut tumbukan yang kurang optimal, penyerapan energi oleh sudu menjadi kurang efisien dan penurunan daya turbin.

Penelitian lain yang memvariasikan jarak pancaran nosel, dilakukan oleh Anugrah Zikri (2022) dengan menggunakan turbin pelton. Hasil analisa yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh jarak semprot nosel terhadap kinerja turbin pelton, dimana semakin jauh jarak semprot nosel dengan sudu turbin maka kinerja turbin pelton yang dihasilkan akan semakin kecil. Dari empat variasi jarak yang diuji (50 mm, 60 mm, 70 mm, dan 90 mm), kinerja turbin pelton yang paling baik diperoleh pada jarak semprot nosel 50 mm dan bukaan katup pengatur debit air 90° dengan nilai efisiensi tertinggi sebesar 85,48% dan nilai daya turbin tertinggi sebesar 212 watt.

Variasi sudut pancaran nosel juga berpengaruh pada kinerja turbin air impuls, hal ini dibuktikan dalam penelitian yang dilakukan oleh I Putu Bayu Suka Yasa, dkk (2022), dimana hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa variasi sudut nosel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa keluaran dari turbin. Variasi sudut ini memengaruhi gaya dorong aliran air terhadap sudu turbin, yang pada akhirnya berdampak pada kecepatan putaran turbin dan generator. Dari tiga variasi sudut nosel yang diuji (65°, 70°, dan 75°), nilai putaran turbin tertinggi dihasilkan pada sudut 70°. Hal ini disebabkan oleh arah semburan air pada sudut 70° yang tepat mengenai bagian tengah sudu turbin, sehingga air tertampung secara optimal di bagian cekung sudu. Kondisi ini meningkatkan gaya dorong terhadap turbin, menghasilkan putaran maksimal baik pada turbin maupun generator. Pada pengujian prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menggunakan turbin jenis Turgo, diperoleh hasil optimal pada sudut nosel 70 dengan daya listrik maksimum yang berhasil dihasilkan adalah sebesar 7,27 Watt, sedangkan efisiensi tertinggi dari turbin diperoleh sebesar 1,099%.

Selain variasi jarak dan sudut, konfigurasi nosel pada turbin air arus atas juga menjadi fokus penelitian yang relevan. Jesse Graciano Yonathan Panjaitan (2025) melakukan penelitian pengaruh jumlah nosel terhadap daya dan efisiensi turbin pada turbin jenis Turgo. Pada penelitian ini dengan 8 sudu mangkok (setengah bola).



hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan 3 nosel menghasilkan daya sebesar 79,934% pada pembebanan 0,5 kg, yang dinilai lebih efisien dalam jangka panjang. Sementara itu, konfigurasi 1 nosel mampu menghasilkan daya tertinggi sebesar 1,0821 watt, yang cocok untuk aplikasi daya rendah. Selain perbedaan variabel jumlah nosel, terdapat pula

perbedaan spesifikasi diameter nosel yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Jesse (2025) menggunakan diameter nosel 10 mm, berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan diameter nosel 8 mm. Temuan ini mengindikasikan bahwa selain jumlah nosel, pengaturan parameter lain seperti ukuran diameter, jarak, dan sudut pancaran juga memiliki potensi besar untuk dioptimalkan guna meningkatkan kinerja turbin air arus atas.

Kunci utama dalam memaksimalkan potensi energi yang terkandung dalam aliran air adalah efisiensi kinerja. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja turbin air arus atas adalah pengaruh jarak dan sudut pancaran nosel. Optimalisasi variabel ini dapat meningkatkan efisiensi turbin secara signifikan. Menanggapi hal tersebut, penulis melakukan penelitian dengan judul **"Analisis Pengaruh Variasi Jarak dan Sudut Pancaran Nosel Terhadap Kinerja Turbin Air Arus Atas"**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, ditemukan beberapa masalah yang dapat dirumuskan antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak dan sudut pancaran nosel terhadap daya turbin air arus atas?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak dan sudut pancaran nosel terhadap efisiensi turbin air arus atas?
3. Bagaimana jarak dan sudut pancaran nosel yang optimal untuk kinerja turbin air arus atas?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis daya turbin air arus atas terhadap variasi jarak dan sudut pancaran nosel.



efisiensi turbin air arus atas terhadap variasi jarak dan sudut
sel.
jarak dan sudut pancaran nosel yang optimal untuk kinerja
s atas.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin air impuls arus atas dengan 8 sudu setengah bola.
2. Material yang digunakan pada turbin berupa akrilik.
3. Nosel yang digunakan berjumlah 1.
4. Diameter nosel 8 mm.
5. Jarak pancaran air nosel divariasikan: 40 mm, 50 mm, dan 60 mm dari sudu.
6. Sudut pancaran air nosel divariasikan: 40°, 45°, 50°, 55°, dan 60°.
7. Debit air divariasikan: 0,0001997 m³/s, 0,0002099 m³/s, dan 0,0002204 m³/s.
8. Pembebanan pada turbin divariasikan: 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, dan 1 kg.
9. Kerugian aliran diabaikan selama pengujian.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Menjadi referensi bagi perancangan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) dengan efisiensi tinggi.
2. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Universitas Hasanuddin
3. Menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Pengertian Turbin Air

Turbin air merupakan salah satu komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Prinsip kerja turbin air didasarkan pada pemanfaatan perbedaan ketinggian (*head*) aliran air, di mana air yang mengalir dari elevasi tinggi ke elevasi yang lebih rendah memiliki energi potensial yang kemudian dikonversi menjadi energi kinetik. Energi ini selanjutnya diarahkan melalui nosel dan mengenai sudu turbin hingga menghasilkan gerakan rotasi pada poros turbin yang untuk menggerakkan generator listrik (Breeze, 2018).



1.6.2 Prinsip Kerja Turbin Air

Pada sistem turbin air, aliran fluida diarahkan menuju rotor melalui saluran masuk (*inlet* nosel) guna meningkatkan kecepatan aliran. Aliran air bertekanan tinggi tersebut kemudian mendorong sudu-sudu pada rotor, sehingga menyebabkan rotor berputar. Energi mekanik hasil putaran rotor selanjutnya diteruskan melalui poros turbin dan dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan berbagai peralatan mekanis, seperti generator listrik, kompresor, pompa, serta aplikasi lainnya yang memerlukan energi mekanik rotasi (Rantererung et al., 2018).

1.6.3 Komponen Utama Turbin Air

1.6.3.1 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak dan bertanggung jawab dalam menerima energi dari aliran air untuk kemudian dikonversi menjadi energi mekanis. Rotor terdiri dari:

- a) Sudu-sudu merupakan komponen turbin yang berfungsi untuk menerima energi kinetik dari pancaran fluida berkecepatan tinggi yang diarahkan oleh nosel.
- b) Poros merupakan komponen penggerak yang berfungsi untuk menyalurkan energi putar yang dihasilkan oleh sudu ke komponen berikutnya dalam sistem.
- c) Bantalan berfungsi sebagai komponen pendukung dan perapat antar komponen yang bergerak, dengan tujuan untuk meminimalkan gesekan serta mencegah terjadinya kebocoran fluida dalam sistem (Fahdita & Muthahhari, 2020).

1.6.3.2 Stator

Stator merupakan bagian diam yang berfungsi mengarahkan aliran fluida agar mengenai rotor secara optimal. Stator terdiri dari:

- a) Pipa pengarah / nosel berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida menuju sudu dengan memperbesar kecepatan dan mengatur tekanan fluida, sehingga energi kinetik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal.



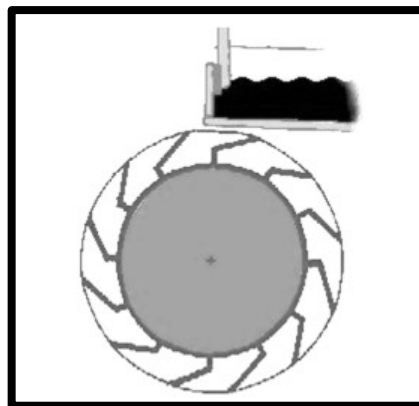
- b) Rumah turbin berperan sebagai struktur pelindung yang menjadi tempat pemasangan dan penyangga seluruh komponen utama turbin (Fahdita & Muthahhari, 2020).

1.6.4 Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan jenis turbin air yang bekerja berdasarkan prinsip perubahan energi potensial menjadi energi kinetik melalui sebuah nosel. Aliran air bertekanan dialirkan ke dalam nosel sehingga menghasilkan pancaran air berkecepatan tinggi yang kemudian diarahkan langsung ke sudu-sudu turbin. Ketika pancaran air tersebut mengenai sudu, terjadi perubahan arah aliran yang mengakibatkan perubahan momentum (impuls), sehingga menghasilkan gaya yang menyebabkan roda turbin berputar. Ciri khas dari turbin impuls adalah bahwa tekanan fluida setelah keluar dari nosel sama dengan tekanan atmosfer di sekitarnya, sehingga sepanjang sudu turbin tidak terjadi perubahan tekanan (Kurniady et. al., 2019).

1.6.4.1 Turbin Air Arus Atas

Turbin air arus atas (*overshot*) merupakan jenis turbin yang memanfaatkan aliran air yang masuk dari bagian atas turbin melalui nosel. Air tersebut menabrak sudu atau bilah yang terpasang di sepanjang keliling turbin, sehingga energi potensial yang dimiliki air akibat perbedaan ketinggian (*head*) berubah menjadi energi mekanik melalui gaya berat air yang menggerakkan turbin tersebut (Štigler, 2022).



Gambar 1 : Turbin Air Arus Atas
Sumber: (Massugianto & Ibrahim., 2015)

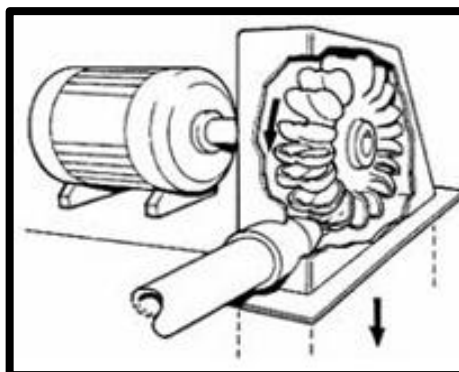


1.6.4.2 Turbin Pelton

Turbin Pelton adalah jenis turbin impuls yang terutama digunakan untuk aplikasi dengan head tinggi dan debit rendah. Turbin ini mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik melalui nosel, yang mengarahkan jet air berkecepatan tinggi ke sudu-sudu yang terpasang pada runner. Jet air mengenai sudu-sudu tersebut, menyebabkan runner berputar dan dengan demikian mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Turbin Pelton dikenal karena konstruksinya yang sederhana, efisiensi tinggi pada head tinggi, dan cocok untuk lokasi terpencil dengan aliran air terbatas (Mockmore & Merryfield, 2014).

Turbin Pelton adalah jenis turbin air bertipe impuls yang dikembangkan oleh Lester Allan Pelton pada tahun 1870-an. Turbin ini bekerja dengan prinsip konversi energi kinetik dari aliran air bertekanan tinggi menjadi energi mekanik putar melalui gaya impuls, berbeda dengan sistem kincir air tipe overshoot yang mengandalkan energi potensial akibat berat air. Sebelum kemunculan desain Pelton, telah ada beberapa varian turbin impuls, namun umumnya memiliki efisiensi yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh aliran air yang masih memiliki kecepatan tinggi setelah melewati sudu, sehingga tidak seluruh energi kinetik dapat dimanfaatkan secara optimal. Desain sudu pada turbin Pelton dirancang secara khusus agar ketika kecepatan keliling roda turbin mencapai setengah dari kecepatan jet air yang keluar dari nosel, air dapat meninggalkan sudu dengan kecepatan minimal. Dengan demikian, hampir seluruh energi kinetik air dapat ditransfer ke poros turbin, menghasilkan efisiensi kerja yang tinggi (Bisen et al., 2014).





Gambar 2 : Turbin Pelton
 Sumber: (Astro et al., 2020)

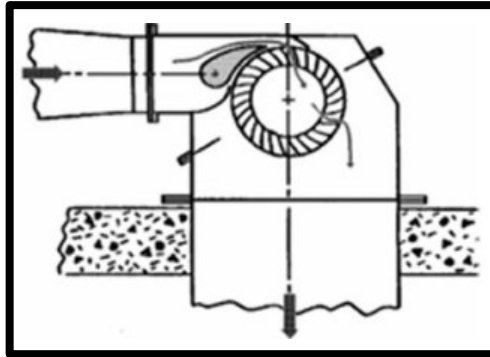
1.6.4.3 Turbin *Cross-flow*

Turbin *crossflow* merupakan salah satu jenis turbin air yang dimanfaatkan untuk mengkonversi energi dari sumber daya air, yang tergolong sebagai energi terbarukan. Keunggulan utama dari turbin ini terletak pada desain konstruksinya yang sederhana, sehingga memudahkan proses perakitan dan pemeliharannya (Anand et al., 2021)

Turbin *cross-flow* diklasifikasikan sebagai turbin impuls yang dirancang untuk beroperasi pada kondisi tinggi jatuh air (*head*) dan debit aliran yang relatif rendah. Keunikan dari turbin jenis ini terletak pada mekanisme aliran fluida kerjanya yang melintasi sudu-sudu runner sebanyak dua kali, suatu karakteristik yang berkontribusi pada efisiensi transfer energi yang optimal. Desain konstruksi yang sederhana serta tingkat kekokohan yang tinggi menjadikan turbin *cross-flow* sebagai solusi yang sangat aplikatif untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), terutama pada daerah-daerah terpencil yang memerlukan sistem pembangkitan mandiri. Secara struktural, komponen utama turbin *cross-flow* terdiri atas *runner*, nosel sebagai pengarah aliran masuk, dan *casing* (rumah turbin). Istilah '*cross-flow*' atau aliran melintang

ada orientasi aliran fluida yang masuk secara radial atau tegak adap sumbu rotasi *runner* (Adhikari & Wood, 2018).

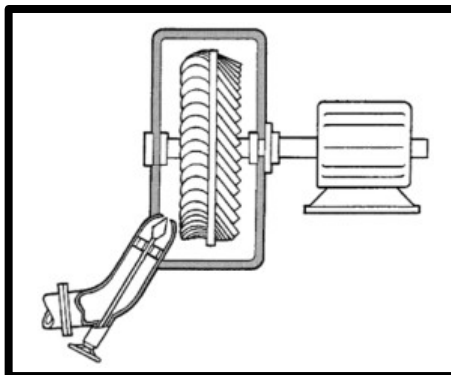




Gambar 3 : Turbin *Cross-flow*
 Sumber: (Astro et al., 2020)

1.6.4.4 Turbin Turgo

Turbin Turgo diklasifikasikan sebagai salah satu jenis turbin impuls, yang beroperasi bersama dengan turbin Pelton dan turbin *Cross-Flow* berdasarkan prinsip konversi energi kinetik fluida kerja. Pada sistem turbin impuls, proses transfer energi dari air ke runner turbin terjadi pada kondisi tekanan atmosfer, baik pada sisi masuk maupun sisi keluar turbin. Prototipe awal turbin Turgo pertama kali diperkenalkan dan dipatenkan oleh Eric Crewdson pada tahun 1919. Secara karakteristik operasional, turbin Turgo memiliki kesamaan rentang aplikasi dengan turbin Pelton. Akan tetapi, turbin Turgo menunjukkan performa yang lebih optimal pada instalasi dengan tinggi jatuh air (*head*) kategori menengah dan mampu mempertahankan efisiensi pada rentang debit fluida yang bervariasi (Benzon et al., 2018).

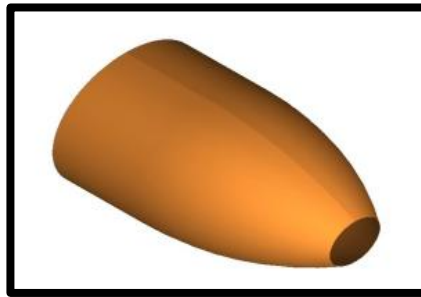


Gambar 4 : Turbin Turgo
 Sumber: (Astro et al., 2020)



1.6.5 Pengertian Nosel

Nosel merupakan komponen penting dalam sistem turbin air yang digunakan untuk mengarahkan dan membentuk aliran fluida kerja, sehingga menghasilkan semburan (jet) berkecepatan tinggi yang kemudian akan mengenai *runner* turbin. Perancangan geometris nosel menjadi faktor penentu dalam optimalisasi gaya dorong yang dihasilkan oleh jet air serta pencapaian efisiensi maksimum pada impeler. Aspek-aspek desain seperti posisi nosel relatif terhadap *runner*, kuantitas nosel yang digunakan, dan konfigurasi sudut sudu pengarah internal nosel secara signifikan mempengaruhi karakteristik distribusi aliran dan menentukan performa turbin secara keseluruhan (Bozarov et al., 2023).



Gambar 5 : Nosel

Sumber: (Gupta et al., 2017)

1.6.6 Fungsi Nosel

Nosel memiliki peran yang sangat penting dalam sistem kerja turbin impuls. Kinerja nosel yang tidak optimal dapat menyebabkan penurunan daya yang dihasilkan oleh turbin. Secara umum, fungsi utama dari nosel pada turbin impuls adalah sebagai berikut:

1. Mengarahkan aliran air secara tepat menuju sudu-sudu turbin untuk menghasilkan putaran.
2. Mengkonversi tekanan fluida menjadi energi kinetik guna memaksimalkan energi yang ditransfer ke turbin.



debit air yang masuk ke dalam turbin sehingga dapat an kebutuhan operasional (Irawan et al., 2020).

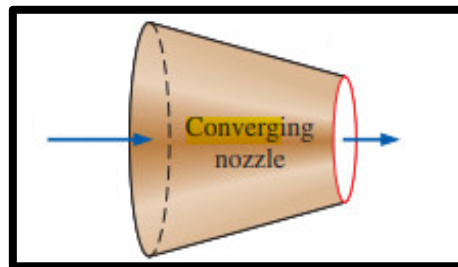
is Nosel

in salah satu komponen penting dalam sistem aliran fluida, asi seperti mesin jet, roket, maupun turbin. Komponen ini

berperan dalam mengatur perubahan kecepatan serta tekanan dari fluida yang mengalir, baik berupa gas maupun cairan. Secara umum, terdapat tiga tipe nosel yang umum digunakan dalam bidang teknik, yaitu nosel konvergen, nosel divergen, dan nosel konvergen-divergen. Setiap jenis nosel dirancang dengan karakteristik dan fungsi tertentu yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi aliran fluida yang dihadapi dalam sistem tersebut (Çengel et al., 2019).

1.6.7.1 Nosel Konvergen

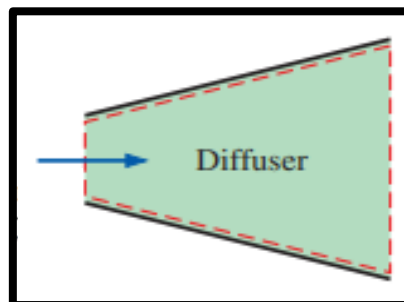
Nosel tipe konvergen berfungsi untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida, namun percepatan tersebut masih berada dalam kondisi subsonik atau belum melampaui kecepatan suara (Çengel et al., 2019).



Gambar 6 : Nosel Konvergen
Sumber: (Çengel et al., 2019)

1.6.7.2 Nosel Divergen

Nosel divergen, atau yang dikenal juga sebagai *diffuser*, merupakan komponen yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida melalui proses perlambatan aliran. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nosel konvergen dan nosel divergen memiliki prinsip kerja yang saling berlawanan (Çengel et al., 2019).

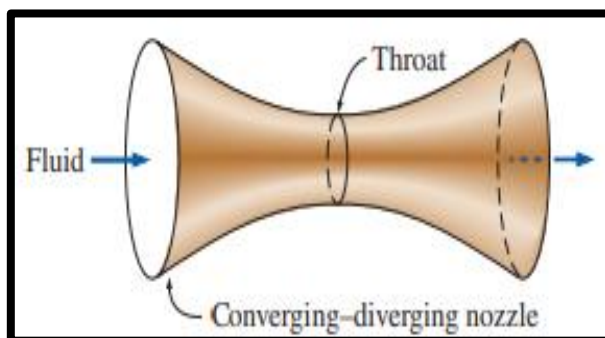


Gambar 7 : Nosel Divergen
Sumber: (Çengel et al., 2019)



1.6.7.3 Nosel Konvergen-Divergen

Kecepatan maksimum fluida yang dapat dicapai dalam nosel konvergen terbatas pada kondisi subsonik, yang umumnya terjadi pada area keluar atau *throat* nosel. Untuk memungkinkan percepatan fluida hingga mencapai kecepatan supersonik, diperlukan penambahan bagian nosel berbentuk divergen setelah area *throat* tersebut (Çengel et al., 2019).



Gambar 8 : Nosel Konvergen-Divergen
Sumber: (Çengel et al., 2019)

1.6.8 Persamaan yang Digunakan

1.6.8.1 Debit (Q)

Debit merupakan besaran yang menyatakan volume air yang mengalir dalam interval waktu satu detik. Satuan yang digunakan untuk debit adalah meter kubik per detik (m^3/s). Nilai debit air ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Adam, 2021).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1.1)$$

Dimana:

Q = debit air (m^3/s)

t = waktu (s)

V = volume (m^3)



Kecepatan Aliran Air (v)

Kecepatan aliran air merupakan parameter yang menunjukkan laju aliran air. Penentuan besaran kecepatan ini dapat dilakukan dengan membagi volume air yang mengalir dalam suatu interval waktu

tertentu melalui sebuah luasan penampang yang telah ditetapkan. Kecepatan aliran air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Adam, 2021).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1.2)$$

Dimana:

v = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang nosel (m²)

1.6.8.3 Daya Air (P_{air})

Daya air dapat dipahami sebagai energi yang disalurkan oleh aliran air ke sudu turbin, atau dapat diartikan pula sebagai kandungan energi yang terdapat dalam aliran air tersebut. Besaran daya masukan (*input*) pada turbin dipengaruhi oleh dua faktor utama, yakni kecepatan aliran air dan debit air yang melaluinya. Aliran air difungsikan untuk menggerakkan mekanisme turbin, di mana energi kinetik yang terkandung dalam air dimanfaatkan untuk menghasilkan rotasi pada sudu turbin. Dengan demikian persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Adam, 2021).

$$P_{air} = \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times v^2 \quad (1.3)$$

Dimana:

P_{air} = daya air (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

1.6.8.4 Torsi (τ)

Turbin merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air sebagai sumber tenaganya. Energi yang dihasilkan oleh turbin berupa gerakan putar pada sudu-sudu, yang selanjutnya diteruskan ke generator melalui transmisi berupa tali dan pulley. Nilai torsi turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Yusuf et al., 2019).

$$\tau = F \times r = m \times g \times r \quad (1.4)$$



Dimana :

τ = torsi (Nm)

F = gaya (N)

m = massa pembebanan (kg)

g = gravitasi (m/s^2)

r = jari-jari (m)

1.6.8.5 Kecepatan Sudut (ω)

Untuk menentukan kecepatan putaran turbin, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut (Yusuf et al., 2019).

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (1.5)$$

Dimana:

ω = kecepatan sudut (rad/s)

π = phi (3,14)

n = putaran turbin (rpm)

1.6.8.6 Daya Turbin (P_{turbin})

Proses perubahan energi kinetik aliran fluida menjadi energi mekanik menyebabkan turbin mengalami gerakan rotasi. Gerakan rotasi ini menghasilkan momen putar (torsi) pada poros turbin. Oleh karena itu, daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut (Adam, 2021).

$$P_{\text{turbin}} = \tau \times \omega \quad (1.6)$$

Dimana:

P_{turbin} = daya turbin (W)

τ = torsi (Nm)



ω = kecepatan sudut (rad/s)

Efisiensi Turbin (η_t)

Effisiensi turbin didapatkan dari perbandingan antara daya keluaran yang dihasilkan turbin dengan daya potensial air yang masuk ke dalam turbin.

Untuk mengetahui nilai efisiensi tersebut, digunakan persamaan sebagai berikut (Adam, 2021).

$$\eta_t = \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{air}}} \times 100\% \quad (1.7)$$

Dimana :

η_t = efisiensi turbin

P_{turbin} = daya turbin (Watt)

P_{air} = daya air (Watt)



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian direncanakan selama 6 bulan dimulai dari bulan Juni 2025 sampai selesai, bertempat di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan.

2.2 Objek Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, sumber data yang digunakan dalam penelitian diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, yaitu:

1. Studi Literatur (*Literature Study*)

Tahap ini difokuskan untuk membangun landasan teoretis yang kuat serta memperoleh pemahaman mendalam mengenai topik penelitian. Kegiatan ini meliputi penelusuran, pengkajian, dan analisis terhadap berbagai sumber pustaka ilmiah, antara lain: buku teks (*text book*), jurnal penelitian nasional maupun internasional, serta laporan penelitian sebelumnya yang relevan dengan perancangan dan analisis kinerja turbin air.

2. Studi Eksperimental (*Experimental Study*)

Tahap ini merupakan inti dari perolehan data yang dilakukan melalui observasi dan pengujian langsung di laboratorium. Objek penelitian yang menjadi fokus utama adalah unjuk kerja turbin air arus atas dengan 8 sudu berbentuk setengah bola, kemudian divariasikan jarak dan sudut pancaran air nosel terhadap turbin. Pengambilan data eksperimental dilakukan secara sistematis mengikuti prosedur pengambilan data yang telah dirancang untuk mengukur parameter-parameter kunci yang merepresentasikan kinerja turbin tersebut dalam berbagai variasi yang ditentukan.

3. Metode Simulasi (*Simulation Method*)



Untuk memodelkan aliran fluida dan interaksinya terhadap air arus atas menggunakan perangkat lunak berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Melalui metode ini, dapat dianalisis secara virtual turbin dalam berbagai kondisi operasional, yang membantu efisiensi turbin sebelum proses pengujian fisik dilakukan.

2.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Turbin Air, digunakan sebagai objek pada penelitian ini dengan 8 sudu setengah bola.



Gambar 9 : Turbin Air

2. Nosel, digunakan untuk membentuk dan mengarahkan aliran air secara tepat menuju sudu-sudu turbin untuk menghasilkan putaran dengan ukuran diameter 8 mm.



Gambar 10 : Nosel



n Air (Reservoir), berfungsi untuk menampung air yang dalam pengujian.



Gambar 11 : Penampungan Air (Reservoir)

4. Pompa Sentrifugal, berfungsi untuk memompa air dari reservoir ke nosel.



Gambar 12 : Pompa Sentrifugal

5. Beban, digunakan sebagai pemberat putaran turbin dengan variasi beban 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, dan 1 kg.



Gambar 13 : Beban



6. Tachometer Digital, digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros turbin per menit (rpm).



Gambar 14 : Tachometer Digital

7. Stopwatch, digunakan untuk menghitung debit air dan waktu putaran turbin air per menit.
8. Pulley, sebagai tempat meletakkan pembebanan pada turbin.
9. Bearing, digunakan sebagai penyangga poros dari turbin air.
10. Katup (valve), berfungsi sebagai pengatur debit aliran air.
11. Pipa PVC, digunakan untuk mengarahkan aliran fluida hingga mengenai sudu turbin.

2.4 Tahapan Penelitian

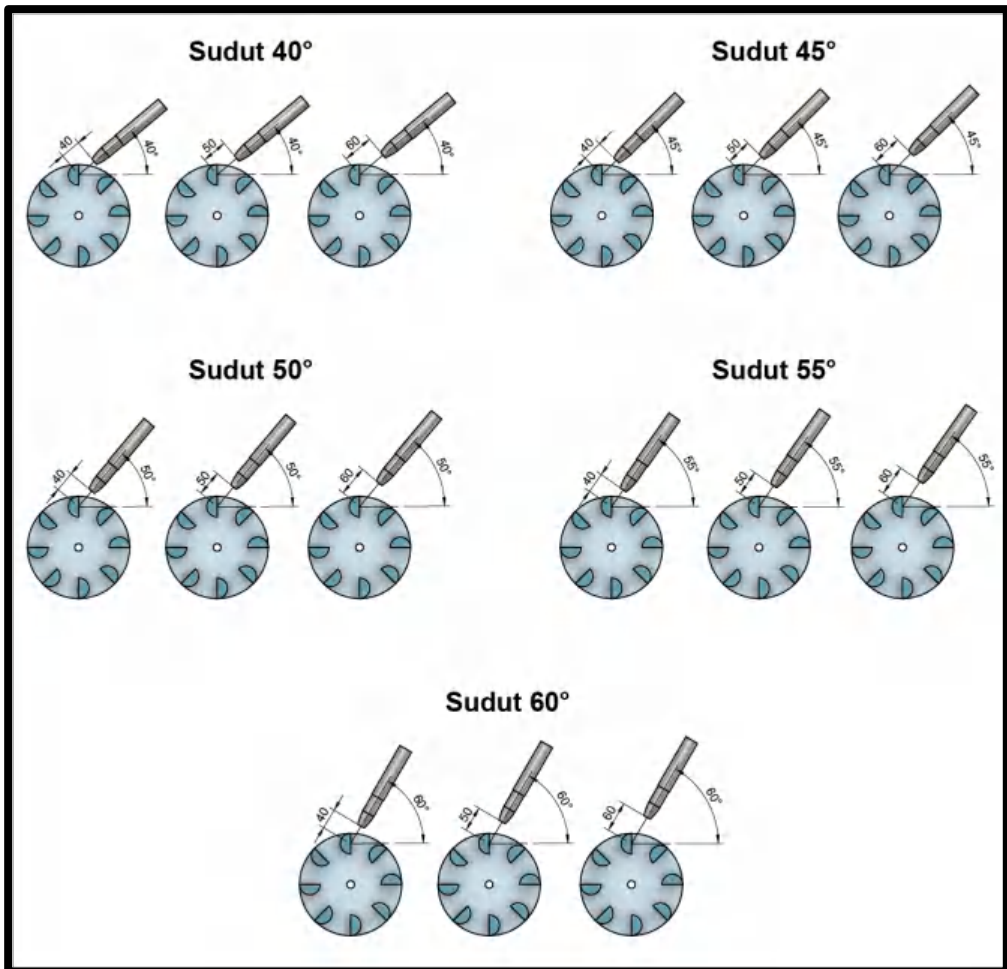
Berikut adalah tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam pengambilan data hingga menyelesaikan penelitian ini:

1. Merancang desain dan alat eksperimen yang akan dijadikan objek penelitian.
2. Mengumpulkan data melalui observasi di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida.
3. Mengolah data dan membahas hasil penelitian.
4. Membuat metode simulasi menggunakan *software Ansys*.
5. Menyimpulkan hasil penelitian berdasarkan pengolahan data dan metode simulasi.



Jarak dan Sudut Pancaran Nosel

i sudut pancaran nosel (40° , 45° , 50° , 55° , dan 60°) digunakan k pancaran nosel (40 mm, 50 mm, dan 60 mm) ke sudu turbin arak dan sudut pancaran nosel yang paling optimal pada g ditampilkan pada **Gambar 15**.



Gambar 15 : Skema Variasi Jarak dan Sudut Pancaran Nosel

2.6 Prosedur Pengambilan Data

Adapun prosedur pengambilan data pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Memeriksa keadaan instalasi terutama pada ketinggian air di penampungan air.
2. Memasang turbin air arus atas dengan 8 sudu setengah bola.



3. Menyalakan pompa ke sumber listrik.

4. Menunggu air mencapai *head* tertinggi pada *reservoir*.

5. Mengukur debit air yang mengalir pada variasi bukaan katup (100%, 75%, dan 50%) serta efisiensi bukaan katup 100%.

6. Pengukuran dilakukan dengan cara menampung air yang keluar dari nosel menggunakan wadah ember kapasitas 22 liter dan menghitung waktu air memenuhi ember menggunakan *stopwatch*.
7. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pada bukaan katup yang sama selanjutnya dicari rata-ratanya dengan tujuan mendapatkan nilai yang akurat.
8. Mengatur variasi sudut pancaran air nosel yang akan bekerja (40° , 45° , 50° , 55° , 60°) dimulai dari pengujian sudut 40° .
9. Kemudian mengatur variasi jarak pancaran air nosel (40 mm, 50 mm, dan 60 mm) terhadap sudu turbin dimulai dari pengujian jarak 40 mm.
10. Memberikan beban pada pulley (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, dan 1 kg) dimulai dengan beban 0,1 kg.
11. Kemudian menghitung jumlah putaran turbin dengan menggunakan *tachometer* dan *stopwatch*.
12. Setelah satu menit, *stopwatch* dihentikan dan mencatat data jumlah putaran yang didapatkan.
13. Kemudian beban ditambahkan dengan kelipatan 0,1 kg hingga beban akhir 1 kg. Setelah itu ulangi prosedur 11-12.
14. Kemudian mengubah katup dengan bukaan 75% dan 50%, setelah itu ulangi prosedur 5-7.
15. Mengatur ulang variasi jarak dan sudut pancaran air nosel yang akan bekerja pada masing masing pengujian variasi. Setelah itu ulangi prosedur 8-14.
16. Semua data yang telah didapatkan, dicatat ke dalam tabel pengamatan.
17. Setelah pengambilan data selesai, matikan pompa dan mengembalikan alat dan bahan pada tempatnya.

2.7 Spesifikasi Alat

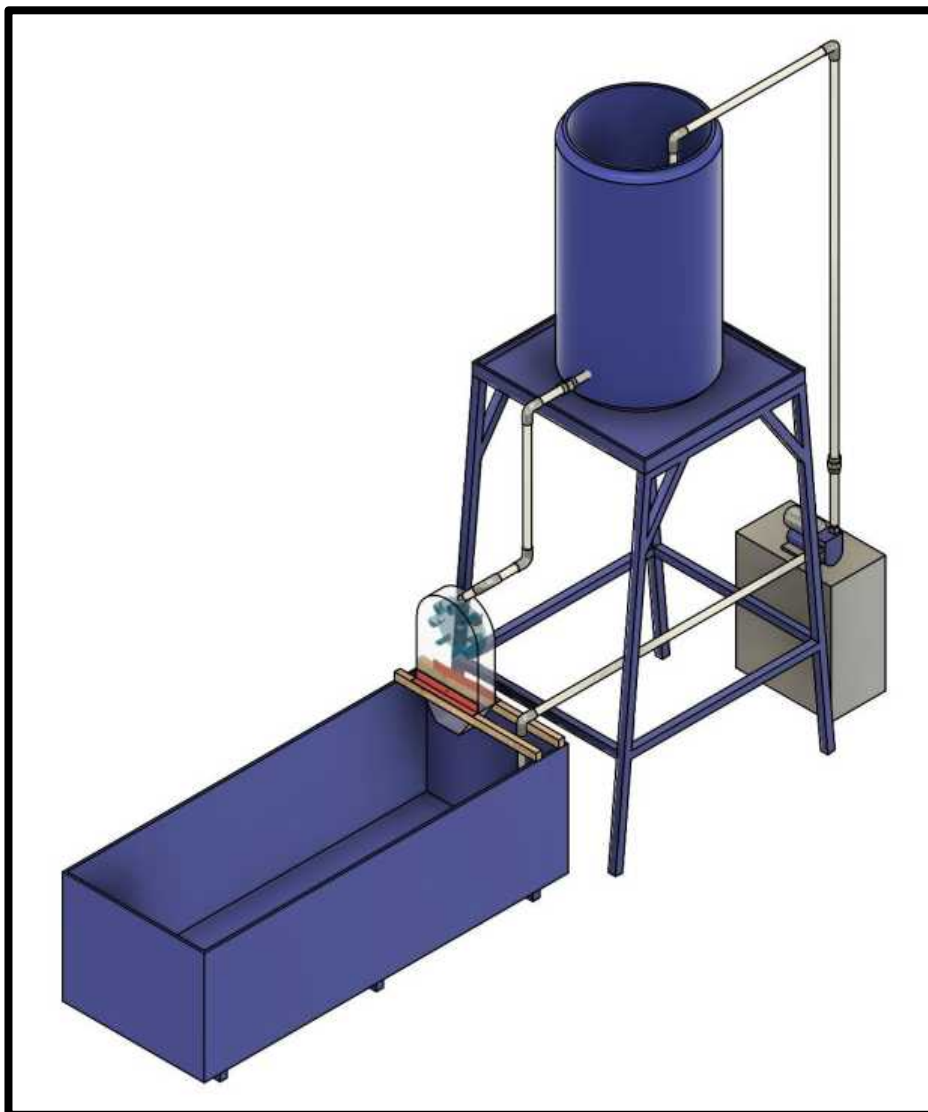
Alat yang digunakan berupa turbin air dengan jenis sudu setengah bola dan memiliki spesifikasi sebagai berikut:



- 1 Turbin = Akrilik
- 1 Sudu = Akrilik
- = 8
- = 20 cm = 0.20 m
- = 4 cm = 0.04 m
- = 1,5 cm = 0.015 m

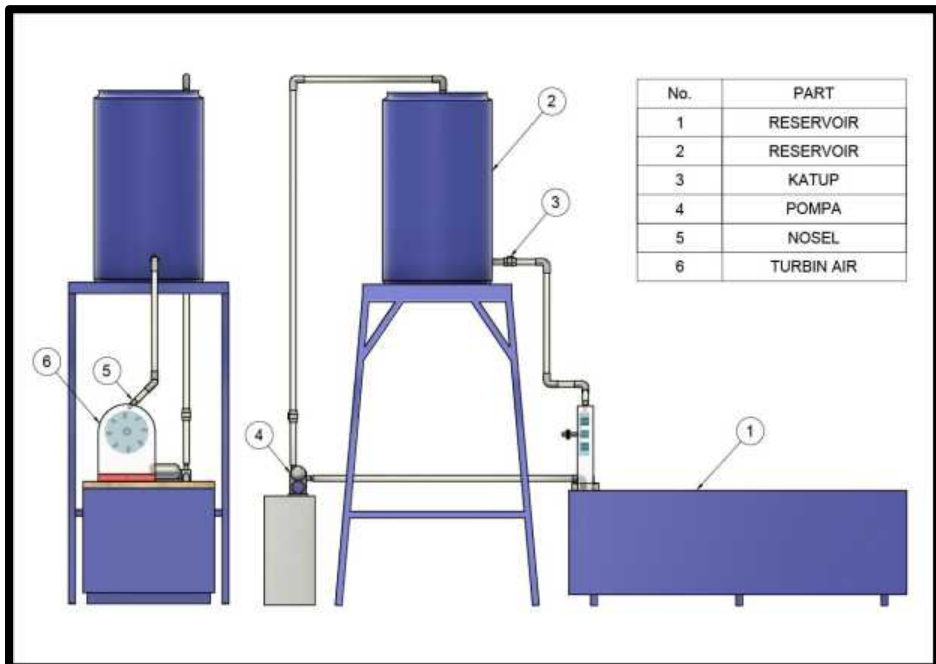
2.8 Rancangan Alat

2.8.1 Instalasi Alat



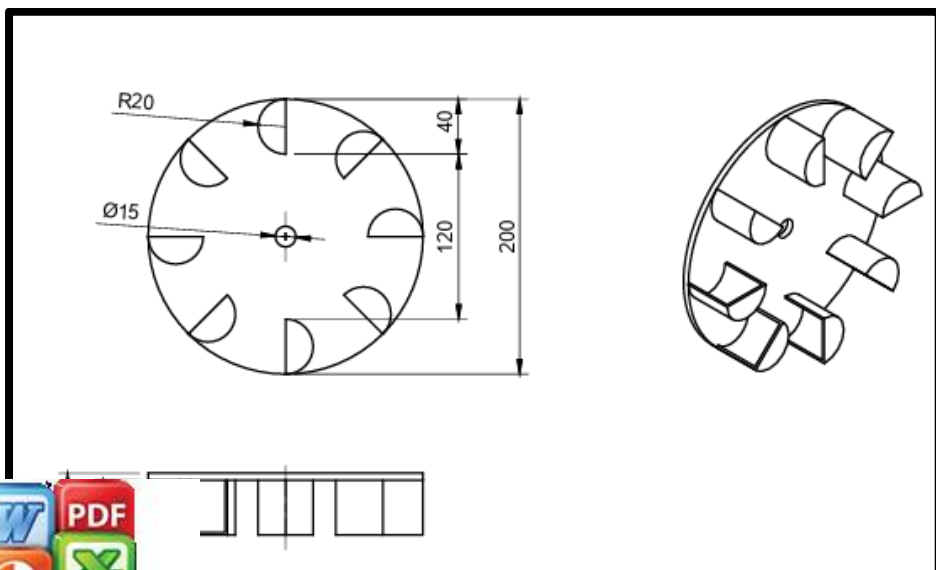
Gambar 16 : Gambar 3D Alat





Gambar 17 : Instalasi Alat

2.8.2 Rancangan Runner



bar 18 : Rancangan Runner 8 Sudu Setengah Bola



2.9 Flowchart Penelitian

