

BAB II

www.itk.ac.id

TINJAUAN PUSTAKA

Pada pengantar bab ini merupakan deskripsi singkat dari isi bab ii Kajian Pustaka dan Dasar Teori. Isi bab ii Pendahuluan meliputi : Pustaka Energi Air, Pustaka Turbin Air, Pustaka Jumlah Sudu, Pustaka Deflektor, Pustaka Performa Turbin Air, dan Penelitian Terdahulu.

2.1 Energi Air

Air adalah salah satu energi yang melimpah dan tidak sulit untuk diperoleh. Air terdapat suatu sumber energi yaitu energi potensial (pada saat air jatuh ke permukaan) dan energi kinetik (pada saat air mengalir dari suatu tempat ke tempat lainnya). Tenaga air atau yang disebut juga *hydropower* yaitu energi yang didapatkan pada fluida berupa air pada kondisi mengalir. Energi pada air bisa digunakan ke dalam bentuk energi listrik maupun energi mekanis. Energi air dapat dimanfaatkan dengan cara menggunakan konstruksi alat mesin berupa turbin atau kincir air yang dapat digerakkan karena adanya suatu aliran fluida berupa air yang mengalir atau air yang jatuh ke permukaan (Astro dkk, 2020).

2.1.1 Energi Kinetik

Suatu benda yang mengalami pergerakan ke arah sumbu horizontal ataupun ke arah sumbu vertikal benda tersebut mempunyai energi kinetik. Energi gerak dapat dikatakan sebagai *kinetic energy*. Terdapat klasifikasi bentuk energi kinetik meliputi energi yang diakibatkan dari gerak berputar atau rotasi, serta energi yang diakibatkan gerak berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Energi kinetik adalah energi yang berkaitan pada benda yang berpindah. Energi kinetik bersumber dari suatu masa yang mengalami pergerakan bersama dengan kecepatan tertentu. Energi Kinetik dirumuskan Persamaan 2.1 sebagai berikut (Napitupulu dan Fritz, 2013).

www.itk.ac.id

$$EK = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

www.itk.ac.id

2.2 Turbin Air

Turbin merupakan konstruksi alat yang dapat berputar yang menangkap suatu energi dari fluida yang mengalir. Turbin dengan menggunakan fluida yaitu air yang berputar diperoleh dengan gaya gerak melingkar disebabkan karena adanya aliran fluida yang mempunyai kecepatan tinggi keluar pada sisi *nozzel*. Turbin air memanfaatkan beberapa energi meliputi potensial dan kinetik pada air kemudian mengkonversikannya menjadi bentuk energi lain yaitu energi mekanis yang dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanik. Fluida air yang mengalir lalu menghantam sudu pada turbin menimbulkan sudu turbin berotasi serta akan mendapatkan energi sehingga *rotor* turbin berputar. Sudu pada turbin adalah penggerak utama yang dapat berputar karena adanya fluida air sebagai bahan kerja untuk menghasilkan tenaga (Hau, 2006).

Fluida air yang ada pada sungai atau bendungan buatan yang sengaja dibangun dengan membuat daerah penampungan air berupa bendungan pada lokasi yang sesuai pada jalur aliran sungai. Fluida berupa air yang di tampung pada reservoir akan dialirkan ke turbin, transfer energi antara energi kinetik air akan menghantam sudu pada turbin yang akan menyebabkan sudu turbin akan bergerak. Penerapan turbin saat ini telah banyak diterapkan pada bidang pembangkit tenaga listrik. Turbin Savonius mempunyai konstruksi yang sederhana, serta mudah dalam pemeliharaannya (Napitupulu dan Fritz, 2013).



www.itk.ac.id

Gambar 2.1 Pengujian Turbin Air Savonius (Alit dkk, 2020)

Pengujian turbin air Savonius terlihat pada Gambar 2.1 yang dilakukan oleh Alit dengan menerapkan turbin air Savonius pada saluran irigasi. Dengan menggunakan konsentrator akan meningkatkan torsi yang dihasilkan turbin air Savonius. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi konsentrator adalah mengarahkan aliran ke sudu sehingga putaran turbin meningkat (Alit dkk, 2020). Turbin air yaitu salah satu mesin utama dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Turbin air memiliki karakteristik dengan mengubah energi meliputi energi kinetik yang ada di air menjadi energi mekanik mengakibatkan putar pada rotor turbin. Putaran yang disebabkan oleh aliran fluida air untuk menggerakkan turbin akan dihubungkan ke generator, dari putaran turbin yang dihubungkan ke generator akan dihasilkan suatu tegangan listrik (Rohman, 2019). Tenaga air ialah penyumbang yang berarti bagi sumber energi yang ada di dunia. Turbin air dapat dikelompokkan secara umum kedalam beberapa turbin yaitu adalah turbin *impuls* dan turbin reaksi.

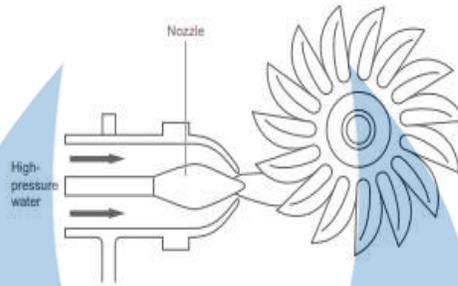
2.2.1 Turbin Reaksi

Turbin reaksi merupakan turbin yang memakai tekanan serta kecepatan agar turbin dapat berputar. Dengan memanfaatkan energi yang ada pada air berupa energi potensial untuk menggerakkan turbin merupakan turbin. Prinsip kerja turbin reaksi yaitu dengan menggunakan *moving nozzle*, dengan menggunakan *moving nozzle* yang ada pada turbin akan adanya gaya aksi reaksi. Energi air yang keluar pada *nozzle* adalah gaya aksi. Fluida air yang keluar dari *nozzle* akan menimbulkan gaya reaksi yang menggerakkan sudu pada turbin reaksi, gaya aksi yang ditimbulkan oleh aliran air (Breeze, 2019).

2.2.2 Turbin Impuls

Turbin *impuls* ialah turbin yang mengubah energi fluida air meliputi energi potensial, tekanan, dan kecepatan sebagai energi kinetik melalui *nozzle*. Kecepatan dari energi kinetik akan digunakan untuk menggerakkan sudu turbin dengan cara mengarahkan *nozzle* pada sudu turbin. Terlihat pada Gambar 2.2 turbin *impuls* akan berputar diakibatkan karena adanya suatu konstruksi yaitu *nozzle* yang

mengeluarkan fluida berupa air, kemudian akan menabrak sudu atau *blade* turbin sehingga turbin *impuls* dapat berputar (Breeze, 2019).

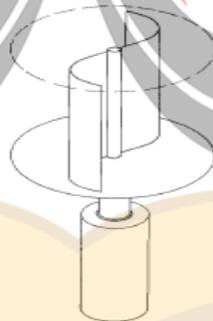


Gambar 2.2 Turbin *Impuls* (Breeze, 2019)

2.2.3 Turbin Savonius

Turbin Savonius dapat diterapkan pada aliran fluida air ataupun udara. Sigurd J. Savonius insinyur asal Firlandia yang telah menciptakan turbin Savonius pada tahun 1922. Lahir pada tahun 1680 dikota Furstenberg, Jerman seseorang bernama Johann Ernst Elias Bessler telah mencoba membangun kincir angin savonius pada tahun 1745. Turbin savonius dapat berputar karena adanya aliran fluida udara ataupun air yang membentur sudu turbin (Hau, 2006).

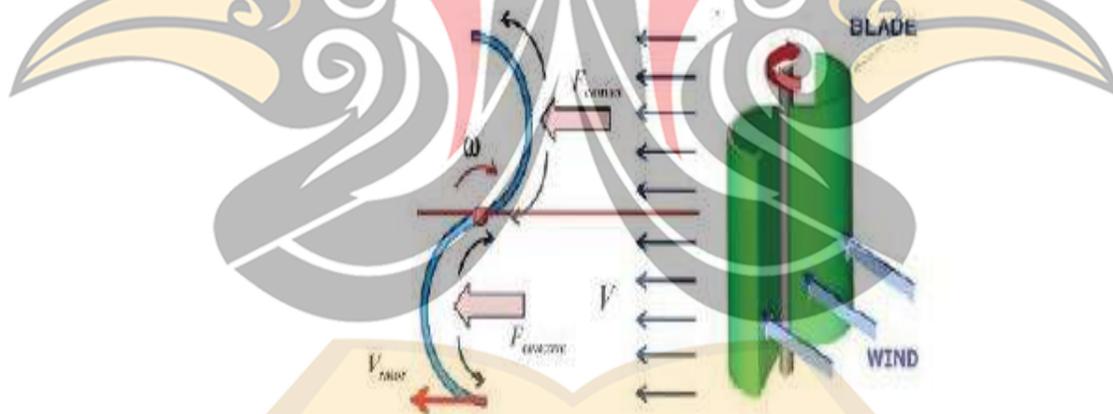
Savonius-Rotor



Gambar 2.3 Turbin Savonius (Hau, 2006)

Terlihat pada Gambar 2.3 turbin Savonius ialah turbin yang memiliki konstruksi alat yang relatif mudah. Turbin Savonius merupakan turbin tipe drag yang dapat dibuat dengan beberapa sudu meliputi sudu dua, tiga serta sudu empat. Turbin Savonius jika diamati dari tampak atas sudu turbin terlihat seperti bentuk huruf S karena kelengkungannya. Turbin Savonius bisa diterapkan pada aliran air

dengan kecepatan yang relatif rendah dengan ketinggian yang tidak terlalu tinggi serta turbin Savonius mampu menghasilkan koefisien daya yang relatif tinggi pada kondisi aliran air pada kecepatan yang rendah. Bagian sudu yang berbentuk huruf S dapat memanfaatkan energi kinetik yang diperoleh dari aliran fluida yang kemudian energi kinetik diubah menjadi energi gerak untuk menggerakkan turbin. Turbin Savonius memiliki cara kerja yakni pada saat turbin berotasi sekitar sepertiga dari revolusinya, bagian sudu pada turbin yang mempunyai bentuk cekungan seperti huruf S yang terbuka akan mendapatkan aliran fluida berupa air ataupun angin dan fluida akan berada di posisi belakang, lalu sudu berikutnya akan berputar serta akan mendapatkan fluida air yang sama dari depan, proses ini akan terus mengalami pengulangan selama adanya fluida air yang membentur turbin. Terlihat pada Gambar 2.4 turbin savonius mempunyai beberapa konstruksi terdiri dari beberapa bagian, yaitu sudu atau *blade*, dan poros. Turbin savonius mempunyai *blade* terbuka akan menerima fluida lebih banyak daripada *blade* tertutup yang akan menyebabkan turbin Savonius berputar (Ridwan dan Abdul, 2019).



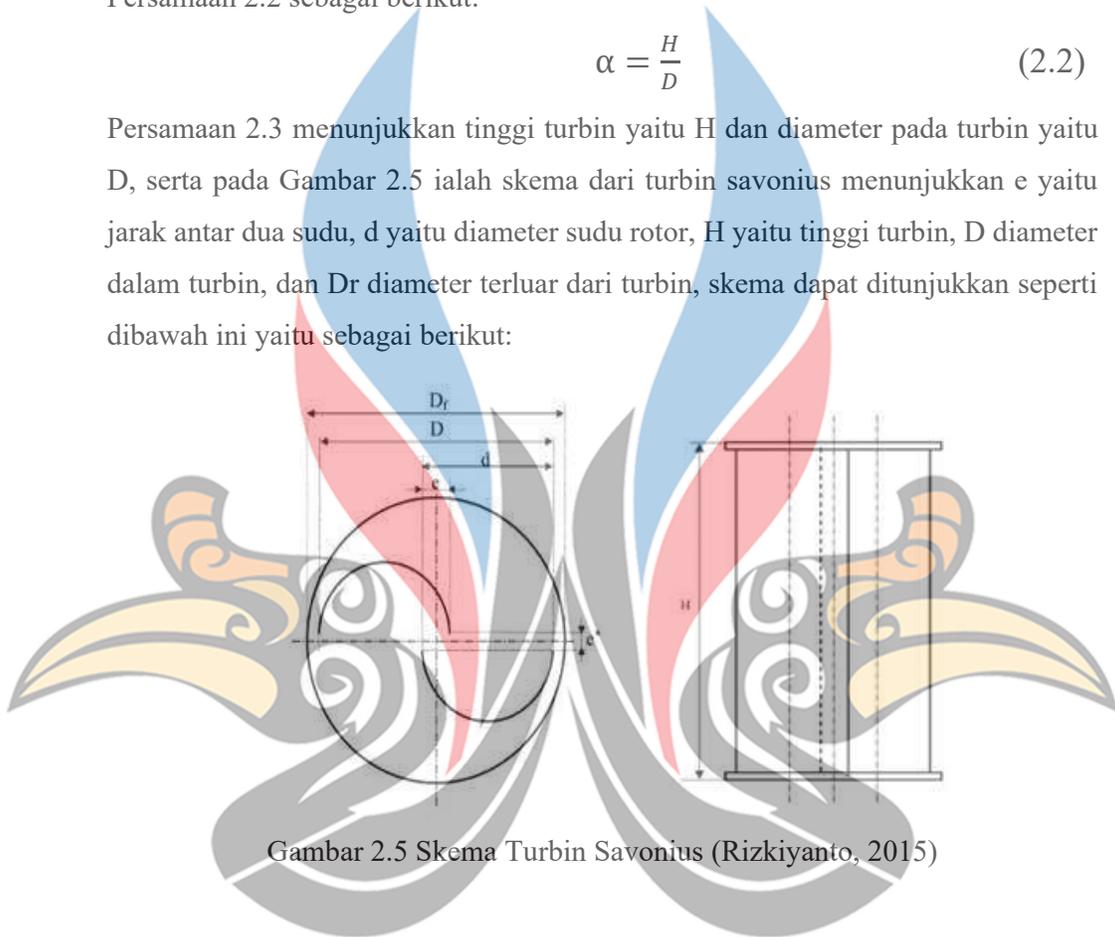
Gambar 2.4 Sketsa Turbin Savonius (Ridwan dan Abdul, 2019)

Turbin air Savonius mempunyai rasio-rasio tertentu dalam proses perancangannya agar bisa mendapatkan luaran yang paling optimal. Pada pengujian yang dilakukan oleh Mahmoud dengan memvariasikan aspek rasio 0,5, 1, dan 2 akan mempengaruhi koefisien daya yang dihasilkan oleh turbin Savonius. Dengan menggunakan aspek rasio 2 akan meningkatkan koefisien daya yang relatif tinggi dibandingkan dengan 0,5 serta 1, namun hal tersebut disesuaikan dengan lokasi dan

tempat pengujian. Aspek rasio akan mempengaruhi koefisien daya yang dihasilkan turbin tergantung dari kecepatan fluida yang diterima oleh turbin (Mahmoud dkk, 2012). Sesuai Gambar 2.5 persamaan aspek rasio (α) dapat diperlihatkan pada Persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{H}{D} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.3 menunjukkan tinggi turbin yaitu H dan diameter pada turbin yaitu D, serta pada Gambar 2.5 ialah skema dari turbin savonius menunjukkan e yaitu jarak antar dua sudu, d yaitu diameter sudu rotor, H yaitu tinggi turbin, D diameter dalam turbin, dan D_r diameter terluar dari turbin, skema dapat ditunjukkan seperti dibawah ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.5 Skema Turbin Savonius (Rizkiyanto, 2015)

2.3 Jumlah Sudu

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius” yang dilaksanakan oleh Jamal pada tahun 2019 menggunakan variasi sudu pada turbin yaitu dua sudu, tiga sudu, dan empat sudu diperlihatkan pada Gambar 2.6 yaitu (Jamal, 2019).

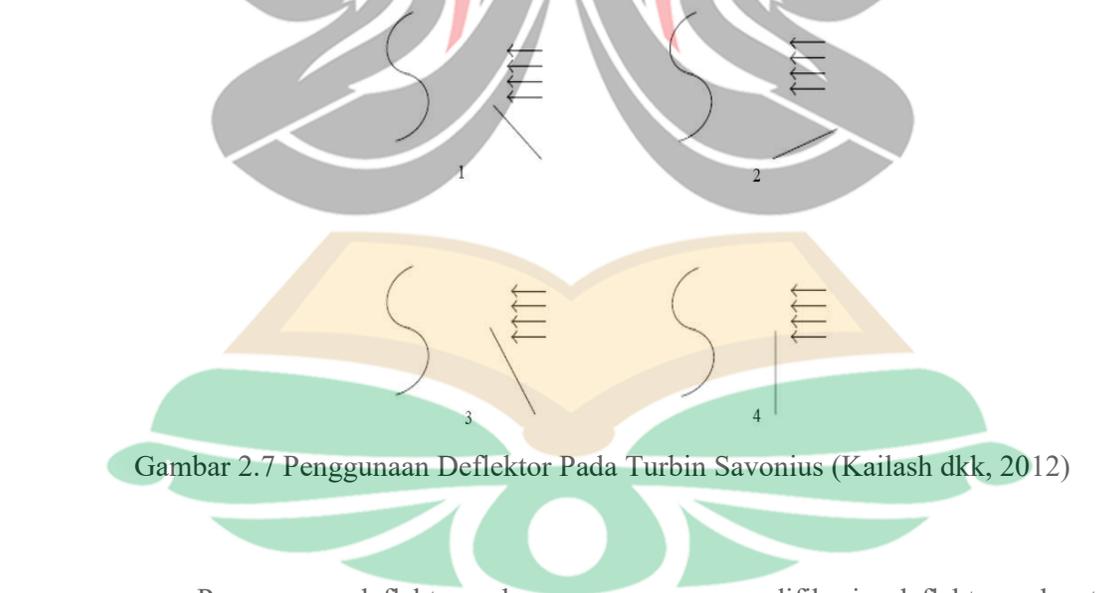


Gambar 2.6 Variasi Sudu Pada Turbin Savonius (Jamal, 2019)

Hasil Penelitian diperoleh bahwa turbin Savonius yang memiliki jumlah sudu dua menghasilkan putaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin Savonius yang mempunyai jumlah sudu tiga ataupun empat. Namun, pada turbin Savonius dengan sudu berjumlah dua memiliki efisiensi yang rendah jika dibandingkan dengan turbin Savonius dengan jumlah sudu tiga serta empat. Hal ini terjadi pada saat turbin Savonius berputar pada kecepatan fluida berupa angin yang rendah dengan pembebanan yang tinggi (Jamal, 2019).

2.4 Deflektor

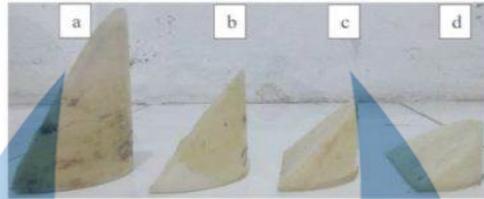
Pengertian deflektor ialah suatu perancangan alat yang berfungsi untuk memperbesar selisih gaya drag pada turbin Savonius. Sehingga gaya drag yang diterima turbin Savonius pada sudu atau *blade* terbuka lebih besar daripada sudu atau *blade* yang tertutup. Terlihat pada Gambar 2.7 penggunaan deflektor pada turbin savonius dengan menempatkan posisi deflektor untuk meningkatkan gaya drag yang diterima turbin Savonius, terlihat tanda panah menunjukkan arah aliran fluida, kemudian terdapat huruf S yang merupakan turbin Savonius, serta terdapat penghalang fluida yaitu deflektor (Kailash dkk, 2012).



Gambar 2.7 Penggunaan Deflektor Pada Turbin Savonius (Kailash dkk, 2012)

Penerapan deflektor dengan cara memodifikasi deflektor dapat meningkatkan kecepatan fluida. Selain itu, deflektor juga dapat meningkatkan gaya positif pada saat turbin berputar. Dengan memasang deflektor pada posisi hulu turbin dapat meningkatkan efisiensi dari turbin Savonius (Prasetyo dkk, 2018).

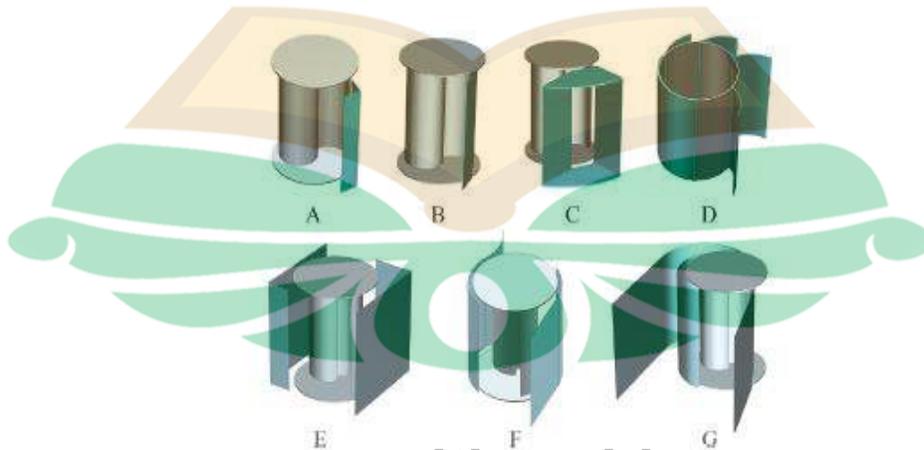
Terlihat pada Gambar 2.8 dengan bentuk deflektor berbeda akan mempengaruhi hasil performa dari turbin Savonius.



Gambar 2.8 Bentuk Deflektor (Prasetyo dkk, 2018)

Meningkatkan performa dari turbin air Savonius dengan penerapan deflektor sudah tidak diragukan lagi. Penerapan deflektor pada turbin air savonius merupakan salah satu langkah untuk meningkatkan efisiensi pada turbin air Savonius (Guo dkk, 2020). Terlihat pada Gambar 2.9 adalah berbagai macam deflektor berdasarkan bentuknya yaitu meliputi:

- a. Deflektor berbentuk penampang.
- b. Deflektor berbentuk garis lurus, deflektor ini adalah deflektor paling populer karena bentuknya sederhana.
- c. Deflektor berbentuk rata, dengan deflektor ini dapat meningkatkan kecepatan aliran masuk.
- d. Deflektor berbentuk engsel.
- e. Deflektor berbentuk kotak pemandu
- f. Deflektor berbentuk tartuferi
- g. Deflektor berbentuk modifikasi



Gambar 2.9 Klasifikasi Bentuk Deflektor (Guo dkk, 2020)

2.5 Performa Turbin Air

Performa turbin air Savonius mempunyai tolok ukur yang berpengaruh terhadap performa dari turbin Savonius. Performa turbin air Savonius dapat dihitung dengan beberapa tolok ukur sebagai berikut:

2.5.1 Tip Speed Ratio (TSR)

Perbandingan kecepatan pada ujung sudu turbin terhadap kecepatan aliran fluida berupa air disebut TSR. *Tip speed ratio* akan mempengaruhi kecepatan putar rotor pada turbin. Perbandingan kecepatan putar rotor ialah salah satu parameter yang dipakai untuk menganalisa turbin air Savonius. Persamaan TSR terdapat pada Persamaan 2.3 yaitu (Saleh dkk, 2020).

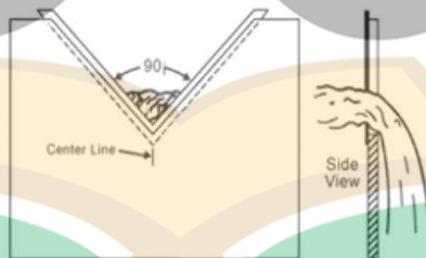
$$\lambda = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot V} \quad (2.3)$$

Persamaan kecepatan sudut yang belum diperoleh dapat menggunakan Persamaan 2.4 sebagai berikut (Manwel, 2004).

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

2.5.2 Weirs V-Notch

Weirs V-Notch merupakan persamaan yang dipakai untuk mengukur debit dari suatu waduk atau bendungan terlihat pada Gambar 2.10 yaitu (Dewanto dkk, 2017).



Gambar 2.10 *Weir V-Notch*, dengan sudut 90° (Dewanto dkk, 2017)

Perhitungan debit aliran dengan menggunakan *Weirs V-notch* dapat dirumuskan pada Persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$Q = 1,38 \cdot H^{5/2} \quad (2.5)$$

Dimana, debit yaitu Q ($m^3/detik$), tinggi aliran air terhadap puncak segitiga yaitu H (m) (Dewanto dkk, 2017).

2.5.3 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan persamaan mekanika fluida yang mendasar. Fluida yang masuk mengalir ke dalam volume yang memenuhi ruang lingkup volume di titik tertentu dapat keluar ke titik lainnya. Fluida yang masuk ke dalam saluran pada ujung pipa harus sama dengan fluida yang akan keluar walaupun saluran pipa mempunyai bentuk jari-jari yang tidak sama, atau massa yang masuk sama dengan massa yang keluar ialah konstan. Persamaan kontinuitas terdapat pada Persamaan 2.6 yaitu (Napitupulu dan Fritz, 2013).

$$Q = V \cdot A \quad (2.6)$$

Diketahui, kecepatan volumetrik atau debit yaitu Q ($m^3/detik$), kecepatan aliran fluida yaitu V ($m/detik$), serta luas penampang yaitu A (Napitupulu dan Fritz, 2013).

2.5.4 Daya Teoritis Turbin

Dalam hal ini energi kinetik yang terdapat pada aliran fluida akan langsung bersentuhan atau menabrak sudu pada kincir Savonius sehingga menyebabkan sudu kincir berputar. Oleh karena itu, dalam Persamaan 2.7, persamaan kekuatan teoritis fluida akan diperoleh sebagai berikut (Napitupulu dan Fritz, 2013).

$$P_A = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \quad (2.7)$$

$$m = \rho \cdot A \cdot V \quad (2.8)$$

sehingga,

$$P_A = \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot V) V^2 \quad (2.9)$$

$$P_A = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.10)$$

Diantaranya, dari rumus diatas, P_A adalah daya fluida teoritis turbin Savonius dalam Watt, m adalah aliran massa fluida dalam kg/s , dan A adalah luas penampang dalam satuan m^2 , V adalah kecepatan air satuannya adalah m/s , serta ρ adalah massa jenis air satuannya adalah kg/m^3 (Rohman, 2019).

2.5.5 Daya Mekanik Turbin

Torsi yang diperoleh berasal dari putaran turbin karena terdapat fluida berupa angin maupun air yang menabrak sudu pada turbin menyebabkan sudu yang ada pada turbin mulai berputar atau berotasi akan menghasilkan daya turbin (Mahmoud dkk, 2012). Persamaan daya turbin terdapat pada Persamaan 2.11 yaitu:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (2.11)$$

persamaan kecepatan sudut yang jika belum diketahui bisa menggunakan Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13 yaitu:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.12)$$

$$P_t = T \cdot \frac{2\pi n}{60} \quad (2.13)$$

agar dapat memperoleh nilai torsi dapat menggunakan Persamaan 2.14 sebagai berikut.

$$T = F \cdot L \quad (2.14)$$

2.5.6 Koefisien Daya Turbin (C_p)

Rasio antara daya yang didapatkan dari torsi yang diperoleh pada putaran turbin dengan daya yang diterima pada turbin yaitu koefisien daya. Pada prinsipnya, daya yang dapat diekstraksi oleh rotor Savonius dari air lebih kecil dari daya aktual yang tersedia untuk energi air. Dengan kata lain, daya yang dihasilkan turbin tidak akan melebihi nilai yang sebenarnya tersedia untuk tenaga fluida air. Persamaan C_p turbin memakai Persamaan 2.18 yaitu perbandingan antara daya mekanik turbin (P_t) dengan daya teoritis turbin (P_A) adalah:

$$C_p = \frac{P_t}{P_A} \quad (2.15)$$

$$C_p = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3} \quad (2.16)$$

dimana,

$$A = H \cdot D \quad (2.17)$$

oleh karena itu, dengan mempertimbangkan persamaan sebelumnya, persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai koefisien daya turbin angin (C_p) adalah sebagai berikut (Rohman, 2019).

$$C_p = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho \cdot H \cdot D \cdot V^3} \quad (2.18)$$

Atau, untuk Persamaan 2.19 untuk memperoleh nilai koefisien daya pada turbin dituliskan dengan:

$$C_p = \frac{2 \cdot P_t}{\rho \cdot H \cdot T \cdot D \cdot V^3} \quad (2.19)$$

dimana, koefisien daya pada turbin air dapat dinotasikan sebagai C_p (Mahmoud dkk, 2012).

2.5.7 Koefisien Torsi Turbin (C_t)

Rasio antara torsi yang diperoleh karena adanya putaran pada turbin dengan torsi yang diterima pada turbin yaitu koefisien torsi. Persamaan koefisien torsi dapat menggunakan Persamaan 2.20 untuk mengetahui nilai koefisien torsi adalah dengan:

$$C_m = \frac{4 \cdot T}{\rho \cdot H \cdot T \cdot D^2 \cdot V^2} \quad (2.20)$$

dimana, koefisien torsi karena adanya putaran turbin yaitu C_m , massa jenis fluida air yaitu ρ (kg/m³), ketinggian rotor yaitu H (m) serta diameter pada rotor ialah D (m) (Mahmoud dkk, 2012).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang akan dilaksanakan membutuhkan analisis pada penelitian sebelumnya yang sejenis kemudian akan menjadi bahan acuan serta referensi. Tolok ukur penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai acuan serta referensi pada penelitian ini ditujukan berdasarkan Tabel 2.1 yaitu:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Prasetyo (2018)	Metode : Pengujian eksperimen turbin Savonius dua sudu dengan variasi deflector 20°, 30°, 40° serta 50° Hasil : Pada turbin Savonius menghasilkan daya yang berbeda dengan penerapan deflektor, dengan daya tertinggi pada deflektor 30° menghasilkan daya 18 Watt
2	Alit, dkk (2019)	Metode : Pengujian eksperimen turbin Savonius dua, tiga dan empat sudu dengan variasi konsentrator deflektor

No	Nama dan Tahun Publikasi	www.itk.ac.id Hasil
		<p>Hasil : Pada turbin Savonius menggunakan konsentrator deflektor menghasilkan daya yang relatif tinggi dibandingkan dengan tidak menggunakan konsentrator deflektor yaitu koefisien daya diperoleh menggunakan tiga sudu dengan konsentrator deflektor sebesar 0,13.</p>
3	Jamal (2019)	<p>Metode : Pengujian eksperimental untuk mengetahui kinerja turbin Savonius dengan variasi jumlah sudu 2, 3, dan 4</p> <p>Hasil : Turbin 2 sudu menghasilkan putaran yang lebih relatif besar daripada turbin 3 dan 4 sudu, namun turbin 2 sudu mempunyai torsi yang rendah daripada turbin 3 dan 4 sudu.</p>
4	Fen Guo, dkk (2020)	<p>Metode : Pengaruh turbin savonius yang disebabkan oleh deflektor belakang dengan validasi eksperimen dan simulasi cfd 2d.</p> <p>Hasil : Pengaruh tata letak deflektor di belakang adalah jika deflektor dipasang dekat pada turbin akan diperoleh nilai koefisien turbin yang nilainya menurun, dengan meletakkan deflektor jauh dari pusat turbin akan menyebabkan nilai koefisien daya turbin akan rendah. Deflektor yang jaraknya ke tengah putaran turbin lebih besar dari 205 mm akan berpengaruh kepada nilai dari koefisien daya. Penerapan deflektor pada posisi tersebut akan mengakibatkan nilai pada kecepatan putar dari turbin akan mengalami penurunan.</p>
5	Salleh, dkk (2020)	<p>Metode : Pengujian eksperimental dua dan tiga sudu dengan deflektor gabungan cekungcembung</p> <p>Hasil : Turbin 2 sudu menghasilkan putaran yang baik dengan menggunakan deflektor gabungan cekungcembung, kehadiran deflektor pada hulu turbin membuat putaran pada rotor turbin meningkat serta meningkatkan nilai dari koefisien yang dihasilkan turbin Savonius. Deflektor berfungsi meminimalisir gaya torsi negatif pada saat aliran fluida menuju turbin, hasil koefisien daya yang diperoleh pada turbin dua sudu sebesar 0,16 serta hasil koefisien daya pada turbin tiga sudu sebesar 0,12.</p>

